

**[Ago-Dic,
2019]**



Rolando Moisés Hinojosa Meza

REPORTE FINAL PARA ACREDITAR RESIDENCIA PROFESIONAL DE LA CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

[SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA IoT MoTeBo[®]: CONSUMO ENERGÉTICO DE UN TORNO CNC DMTG]

MoTeBo SAPI DE CV

DR. PAULINO VACAS JACQUES
Asesor externo

MC. JULIO ACEVEDO MARTÍNEZ
Asesor interno

Diciembre de 2019

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer a mis padres por su esfuerzo, apoyo y confianza, sin ellos no sería posible el que yo estuviera aquí teniendo la oportunidad de superarme, con sus enseñanzas y su ejemplo me eh convertido en la persona soy, gracias a mis hermanos por estar conmigo y me hermana Zoila Monserrat por ser mi ejemplo a seguir como ingeniero. Agradezco a mis amigos que estuvieron conmigo en todo momento por escucharme y por sus consejos. También agradezco al Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga y sus docentes por compartir sus conocimientos y experiencias a lo largo de la carrera para formarme como profesional, agradezco al Dr. José Alonso Dena, al Mtro. Julio Acevedo, Mtro. Raúl Llamas y Mtro. Edgar Zacarías por su mentoría y asesoría para la realización de este proyecto, a Paulino Vacas Jacques y a todo su equipo de trabajo por la oportunidad de poder realizar el proyecto de residencias en MoTeBo SAPI.

RESUMEN

“SISTEMA INTEGRAL DE MONITOREO DE CONSUMO DE ENERGÍA ELÉCTRICA MEDIANTE TECNOLOGÍA IoT MoTeBo®: CONSUMO ENERGÉTICO DE UN TORNO CNC DMTG”

Por: **ROLANDO MOISÉS HINOJOSA MEZA**

MoTeBo SAPI DE CV es una empresa mexicana dedicada al desarrollo de la innovación textil mediante la adopción de tecnología del internet de las cosas (IoT) y de la tecnología vestible (*Wearable Technology*) Wt donde su centro corporativo se localiza en la ciudad de León, Guanajuato. Como parte de su visión y giro de servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería se propone implementar acciones de innovación tecnológica por medio del traslado de la tecnología IoT a la industria a través de la creación e implementación de un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica con tecnología IoT MoTeBo® para medir el consumo energético que un proceso, equipo, maquinaria o planta completa tiene durante su operación o mientras permanecen en modo de espera “listo para usar” (*stand-by*) y, en tiempo real, registrar los datos obtenidos en la nube, es decir, transferir los datos a través de internet, a un sistema de almacenamiento propiedad de la empresa por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. Lo anterior con el objetivo de detectar en un proceso las potenciales áreas o actividades donde se puede ahorrar energía eléctrica y por ende establecer estudios de calidad de la energía y reducir sus costos de facturación por este concepto. Como referencia, las tarifas de cobro por energía eléctrica entre enero y diciembre de 2018 fluctuaron con incrementos aproximados entre el 74 y el 118%. Esto representa un gasto muy significativo de las empresas y por tanto deben adoptar medidas efectivas de reducción de consumos energéticos.

Dentro de este panorama, MoTeBo establece como meta el medir el consumo de energía eléctrica de equipos de manufactura especializada para validar su tecnología IoT MoTeBo® de registro de datos y comunicación en tiempo real con la nube. Por tanto,

se propone implementar la medición del consumo de energía eléctrica en un torno CNC DMTG CKE 6140Z bajo condiciones de operación controladas y empleando un medidor multifunción de parámetros de red de la marca y modelo Siemens Sentron PAC 3100 para medir valores de potencia y energía y de magnitudes eléctricas como tensiones y corrientes. Los valores obtenidos serán comunicados en tiempo real a la nube por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®.

En este trabajo se aplicaron técnicas y metodologías de la Mecatrónica para diseñar y construir un sistema integral de medición de energía consistente en (i) la instalación y prueba del sistema de monitoreo a través del diseño y fabricación de la infraestructura para conexión a la nube, (ii) cableado de maquinaria a interfaz de control y equipo de medición y (iii) la interfaz de comunicación empleando el módulo de comunicación MoTeBo®. La propuesta de solución consistió en operar el equipo torno, observar la lectura de variables de medición con el equipo Sentron PAC 3100 y lograr la interfaz con el módulo MoTeBo®.

Se logró diseñar e instalar un sistema de medición con interfaz a un torno CNC y se logró la interfaz del equipo Sentron PAC 3100 con el módulo MoTeBo®. La variable de estudio empleado fue la potencia aparente.

Esta fuera de alcance del presente proyecto la validación del sistema diseñado.

Dirigido por:

Dr. Paulino Vacas Jacques

MC. Julio Acevedo Martínez

ÍNDICE GENERAL

I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 DESCRIPCIÓN DE LA EMPRESA Y DEL PUESTO O ÁREA DE TRABAJO DEL RESIDENTE	3
<i>Misión.....</i>	3
<i>Visión</i>	3
1.2 PROBLEMA(S) A RESOLVER	4
1.3 OBJETIVOS	5
1.3.1 <i>Objetivo general</i>	5
1.3.2 <i>Objetivos específicos</i>	5
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	5
II. MARCO TEÓRICO.....	7
2.1 ENERGÍA ELÉCTRICA: USOS INDUSTRIALES	7
2.1.1 <i>Antecedentes</i>	7
2.1.2 <i>Electricidad: en la industria</i>	7
2.2 TARIFAS HISTÓRICAS CFE	9
2.2.1 <i>Demanda industrial en transmisión</i>	10
2.3 FACTOR DE POTENCIA	12
2.3.1 <i>Potencia aparente</i>	12
2.4 VARIABLES DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y ENERGÍA	13
2.5 INSTALACIONES Y CONEXIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES	14
2.5.1 <i>Condiciones generales en instalaciones eléctricas industriales.....</i>	16
2.5.2 <i>Conductores de conexión eléctricos industriales</i>	16
2.6 MEDIDOR MULTIFUNCIÓN SIEMENS SENTRON PAC3100	18
2.6.1 <i>Ejemplos de conexión</i>	21
2.7 TORNO CNC	22
2.7.1 <i>Tipos de Tornos CNC</i>	23
2.7.2 <i>Funcionamiento.....</i>	24

2.7.3 Partes del torno CNC.....	24
2.8 MÓDULO DE COMUNICACIÓN MoTeBo® Y PLATAFORMA DE COMUNICACIÓN MoTeBo®	27
2.9 COMUNICACIÓN MODBUS RTU VÍA INTERFAZ RS485: CENTRO DE CONTROL.....	27
2.9.1 Descripción del protocolo Modbus RTU.....	27
2.9.2 Descripción de la interfaz RS-485.....	28
2.9.3 RS-232, RS-422 y RS-485.....	29
III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS.....	31
3.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO INTEGRAL DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	31
3.1.1 Diseño y manufactura del gabinete.....	31
3.1.2 Instalación del gabinete.	33
3.1.3 Diseño y manufactura de porta transformador.	34
3.1.4 Diseño y manufactura de mecanismo de sujeción del Sentron PAC 3100	34
3.1.5 Conexión.....	35
3.2 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN	37
3.2.1 Conexión al bus RS485 Sentron Pac3100.....	38
3.2.2 Lectura de datos del dispositivo Sentron PAC3100 vía RS-485	40
3.2.3 Desarrollo STM32 (ATOLLIC) y toma de datos con la placa de desarrollo P-L496G-CELL02 STM32.....	43
3.2.4 Interfaz de comunicación con módulo de comunicación MoTeBo®.....	45
3.3 CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES.....	46
IV. RESULTADOS	47
4.1 CONSTRUCCIÓN DEL SISTEMA DE MONITOREO INTEGRAL DE MEDICIÓN DE ENERGÍA ELÉCTRICA.	47
4.1.1 Diseño del gabinete	47
4.1.2 Manufactura del gabinete.....	47
4.1.3 Instalación del gabinete	51
4.1.4 Porta transformadores y sujeción del Sentron PAC 3100	53
4.1.5 Conexión.....	53
4.2 INTERFAZ DE COMUNICACIÓN	56

4.2.1 Cableado conexión Modbus RTU vía interfaz RS-485 del Sentron PAC 3100.	56
4.2.2 Lectura de datos del dispositivo Sentron PAC3100 vía RS-485.	58
4.3 REGISTRO PRELIMINAR DE DATOS EMPLEANDO EL MÓDULO DE COMUNICACIÓN MoTeBo®	62
V. CONCLUSIONES	67
VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS	68
VII. FUENTES DE INFORMACIÓN	69
ANEXO 1	72
ANEXO 2	77
ANEXO 3	79
ANEXO 4	80

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA 1. ORGANIGRAMA DE LA INSTITUCIÓN Y DEL ÁREA DE RESIDENCIA.	4
FIGURA 2. TASA MEDIA DE CRECIMIENTO ANUAL 2005 -2018.	8
FIGURA 3. CAPACIDAD INSTALADA EN MÉXICO.	8
FIGURA 4. PROMEDIO DE PRECIO Y EL CAMBIO ANUAL POR CONCEPTO DE LAS TARIFAS GDMTH (HM) DESDE EL AÑO 2001.	10
FIGURA 5. TRIANGULO DE POTENCIAS EN ALTERNA	13
FIGURA 6. SUBESTACIÓN ELÉCTRICA TIPO COMPACTA DENTRO DE UNA INDUSTRIA.	15
FIGURA 7. SUBESTACIÓN PERFECTAMENTE INSTALADA CON SU CONEXIÓN ELÉCTRICA CON SU CORRECTO ENRUTAMIENTO.	15

FIGURA 8. CARACTERÍSTICAS DE PLACA PARA LA INSTALACIÓN DE MOTORES EN CORRIENTE	
CONTINUA Y CORRIENTE ALTERNA.	19
FIGURA 9. MEDIDOR MULTIFUNCIÓN SIEMENS SENTRON PAC3100.	20
FIGURA 10. TIPO DE CONEXIÓN 3P4W, SIN TRANSFORMADOR DE TENSIÓN, CON TRES	
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.	22
FIGURA 11. TIPO DE CONEXIÓN 3P3W, SIN TRANSFORMADOR DE TENSIÓN, CON TRES	
TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.	22
FIGURA 12. TORNO CNC DMTG CKE 6140Z	23
FIGURA 13. TIPOS DE TORNO	24
FIGURA 14. PARTES DE UN TORNO.	26
FIGURA 15. ESQUEMA BÁSICO DE CONEXIÓN DE LA INTERFAZ RS-485.....	28
FIGURA 16. ESQUEMA DE CONEXIONES: TOPOLOGÍA RS 485 GENERAL.	29
FIGURA 17. CHAPA METÁLICA SOLIDWORKS	31
FIGURA 18. CORTADORA PLASMA LINCOLN ELECTRIC 4400.	32
FIGURA 19. PRENSA HIDRÁULICA MACOS.....	32
FIGURA 20. LAYOUT SITIO DE INSTALACIÓN DE CAJA DE CONEXIONES.	33
FIGURA 21. DIMENSIONES DEL TRANSFORMADOR DE CORRIENTE	34
FIGURA 22. MECANISMO DE ENCLAVE ORIGINAL.....	34
FIGURA 23. IMPRESORA ENDER 3.....	35
FIGURA 24. CONEXIÓN EN ESTRELLA.	36
FIGURA 25. DESIGNACIÓN DE CONEXIONES	37
FIGURA 26. ROTULACIÓN DE BORNES RS485.....	38
FIGURA 27. CONECTOR BUS RS485.....	38
FIGURA 28. ESQUEMA MAESTRO/ESCLAVO.	39

FIGURA 29. CONVERTIDOR SP485CN RS485 A SERIAL.....	40
FIGURA 30. SHIELD ARDUINO XBEE V5.....	40
FIGURA 31. CONVERSOR USB A RS-485	41
FIGURA 32. SHIELD ARDUINO PARA RS-485.....	41
FIGURA 33. CONFIGURACIÓN DE CONEXIÓN RS-485 A SHIELD ARDUINO.	42
FIGURA 34. INTERFAZ DEL PROGRAMA A UTILIZAR.	44
FIGURA 35. MONITOR SERIAL PLACA L496G-CELL02 STM32.	45
FIGURA 36. ARCHIVOS NECESARIOS PARA EL ENVIÓ DE DATOS.....	45
FIGURA 37. CORRECTO FUNCIONAMIENTO DEL PROYECTO.....	46
FIGURA 38. GABINETE SOLIDWORKS.....	47
FIGURA 39. PARTES QUE CONFORMAN EL GABINETE.	48
FIGURA 40. PARTES DE GABINETE DOBLADAS EN LA PRENSA.....	48
FIGURA 41. REMACHADO DEL GABINETE.	49
FIGURA 42. CAJA REMACHADA.	49
FIGURA 43. PROCESO DE SOLDADURA.	50
FIGURA 44. ENSAMBLE DEL GABINETE FINAL.....	50
FIGURA 45. GABINETE CON PINTURA ANTI ELÉCTRICA APLICADA.	51
FIGURA 46. EMPOTRAMIENTO DEL GABINETE.	51
FIGURA 47. INSTALACIÓN DE COPLEES.....	52
FIGURA 48. ADAPTACIÓN DE CERRADURA.	52
FIGURA 49. PORTA TRANSFORMADORES Y MECANISMO DE SUJECIÓN.	53
FIGURA 50. RUTEO PARA LA ENTRADA Y SALIDA DE CABLES EN EL GABINETE.	54
FIGURA 51. BLOQUE DE TERMINALES.....	55
FIGURA 52. CONEXIONES DEL SENTRON PAC 3100.	55

FIGURA 53. SISTEMA DE MONITOREO INSTALADO.	56
FIGURA 54. CONECTOR RJ45.....	56
FIGURA 55. CONEXIÓN DE INTERFAZ RS485 USANDO EL COPLEEE RJ45.....	57
FIGURA 56. CONEXIÓN RS485 CON PLACA DE DESARROLLO	57
FIGURA 57. CONEXIONES DENTRO DEL GABINETE.	58
FIGURA 58. CONEXIÓN DE LA INTERFAZ VÍA RS-485.	58
FIGURA 59. CONFIGURACIÓN DE LECTURA VÍA RS-485.	59
FIGURA 60. DIRECCIÓN ID Y FUNCIÓN QUE SE DESEA EJECUTAR.	59
FIGURA 61. RESULTADOS DE LECTURA VÍA RS-485.....	60
FIGURA 62. CONEXIÓN RS-485 UTILIZANDO LA SHIELD XBEE V5.....	60
FIGURA 63. DATOS OBTENIDOS CON EL MONITOR SERIAL DE ARDUINO CON MAQUINA APAGADA.	61
FIGURA 64. LECTURA DE CORRIENTES CUANDO LA MAQUINA ESTÁ ENCENDIDA.	61
FIGURA 65. CÓDIGOS DE FUNCIÓN PARA ACCEDER A LOS REGISTROS.....	62
FIGURA 66. SELECCIÓN DE PLACA DE DESARROLLO ADECUADA.....	63
FIGURA 67. CONEXIÓN DE LA SHIELD A LA PLACA DE DESARROLLO L496G.	63
FIGURA 68. ÁREA DE CONFIGURACIÓN DEL MICROPROCESADOR DE LA PLACA DE DESARROLLO L496G.	64
FIGURA 69. LIMPIEZA DE LOS PINES CONFIGURADOS.	64
FIGURA 70. CONFIGURACIÓN DE PINES NECESARIOS PARA INTERFAZ RS-485.....	65
FIGURA 71. CONFIGURACIÓN NECESARIA PARA ENTRONO ATOLLIC.....	65
FIGURA 72. CARPETA Y DECLARACIÓN DE LIBRERÍAS NECESARIAS.....	66
FIGURA 73. INCLUSIÓN DE CÓDIGOS GENERADOS PARA LA COMUNICACIÓN RS-485.....	66
FIGURA 74. PLANOS DE LA BASE DEL GABINETE.	72

FIGURA 75. PLANO DEL LATERAL DEL GABINETE.....	73
FIGURA 76. PLANO DE LA PUERTA DEL GABINETE.	74
FIGURA 77. PLANOS DEL PORTA TRANSFORMADORES DE CORRIENTE.	75
FIGURA 78. PLANO DEL MECANISMO DE SUJECIÓN PARA EL SENTRON PAC 3100.....	76

ÍNDICE DE TABLAS

TABLA 1. VISUALIZACIÓN DE MAGNITUDES MEDIDAS EN FUNCIÓN DEL TIPO DE CONEXIÓN.	21
TABLA 2. IDENTIFICACIÓN Y ACCIÓN REALIZADA POR LOS REGISTROS.	28
TABLA 3. IDENTIFICACIÓN Y ACCIÓN REALIZADA POR LOS REGISTROS.	30
TABLA 4. ESCRITURA DE TELEGRAMA EMITIDA.....	42
TABLA 5. CÓDIGOS DE FUNCIÓN ADMITIDOS	42

I. INTRODUCCIÓN

MoTeBo SAPI DE CV es una empresa mexicana dedicada al desarrollo de la innovación textil mediante la adopción de tecnología del internet de las cosas (IoT) y de la tecnología vestible (*Wearable Technology*) Wt para la fabricación de prendas de vestir inteligentes que a través de sensores recaban datos diversos de utilidad para el usuario industrial o de servicios, por ejemplo, geolocalización de personal de trabajo de campo en puntos aislados o monitoreo de signos vitales. Su centro corporativo se localiza en la ciudad de León, Guanajuato, cuenta con una planta en la ciudad de Tijuana, Baja California y mantiene relaciones comerciales en el extranjero, principalmente en Estados Unidos y Francia.

Como parte de su visión y giro de servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería se propone implementar acciones de innovación tecnológica por medio del traslado de la tecnología IoT a la industria a través de la creación e implementación de un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica con tecnología IoT MoTeBo® para medir el consumo energético que un proceso, equipo, maquinaria o planta completa tiene durante su operación o mientras permanecen en modo de espera “listo para usar” (*stand-by*) y, en tiempo real, registrar los datos obtenidos en la nube, es decir, transferir los datos a través de internet, a un sistema de almacenamiento propiedad de la empresa por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. Lo anterior con el objetivo de detectar en un proceso las potenciales áreas o actividades donde se puede ahorrar energía eléctrica y por ende establecer estudios de calidad de la energía y reducir sus costos de facturación por este concepto. Como referencia, en el centro del país (zona bajo) se consume energía en tarifa Gran Demanda en Media Tensión Horario (GDMTH) donde en enero de 2018, los industriales pagaban a la Comisión Federal de Electricidad (CFE) en horario intermedio de 6:00 a 20:00 horas \$0.9493 pesos MXN por KWhr de consumo, para septiembre de 2018 dicho pago fue de \$2.0768, esto es, un incremento de precio de aproximadamente 118%. Para diciembre de 2018, el costo fue de \$1.6508, gracias a subsidios de gobierno, pero aun así representa un aumento de cerca del 74% respecto al precio de referencia de enero 2018. Esto representa un gasto

muy significativo de las empresas y por tanto deben adoptar medidas efectivas de reducción de consumos energéticos.

Considerando lo anterior, el objetivo del presente trabajo fue el medir el consumo de energía eléctrica de un torno CNC DMTG CKE 6140Z bajo condiciones de operación controladas y empleando un medidor multifunción de parámetros de red de la marca y modelo Siemens Sentron PAC 3100 para medir valores de potencia y energía y de magnitudes eléctricas como variables de medición de voltaje, corriente, potencia aparente, potencia activa, potencia reactiva, potencial total aparente, potencia total activa, potencia total reactiva, factor total de potencia, frecuencia de línea, energía activa, energía reactiva, potencia activa acumulada y/o potencia reactiva acumulada. Los valores obtenidos serán comunicados en tiempo real a la nube por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. El proyecto se realiza dentro de las instalaciones del taller de manufactura del Instituto Tecnológico de Pabellón de Arteaga, bajo convenio de colaboración tecnológica.

En particular, se aplicarán técnicas y metodologías de la Mecatrónica para diseñar y construir un sistema integral de medición de energía consistente en (i) la instalación y prueba del sistema de monitoreo a través del diseño y fabricación de la infraestructura para conexión a la nube, (ii) cableado de maquinaria a interfaz de control y equipo de medición y (iii) la interfaz de comunicación empleando el módulo de comunicación MoTeBo®.

La presente propuesta permitió operar el equipo torno sin carga de trabajo, registrar variables de potencia aparente el equipo Sentron PAC 3100 y lograr la interfaz con el módulo MoTeBo®.

Se lograron obtener valores de potencia aparente y la interfaz con el módulo MoTeBo®.

Esta fuera de alcance del presente proyecto validar el funcionamiento del equipo construido con cargas reales de trabajo.

Este trabajo es parte de un proyecto global de medición de consumos energéticos para demás equipos de manufactura especializada y/o procesos reales. Por lo que este estudio se complementa con otro reporte similar de consumo energético

realizado en el Instituto colaborador que servirá de base para establecer demás trabajo a futuro propio de la empresa y fuera del alcance del presente proyecto.

1.1 Descripción de la empresa y del puesto o área de trabajo del residente

El ramo económico de la empresa es de servicios de investigación y desarrollo en ciencias físicas, de la vida e ingeniería prestados por el sector privado.

Sus políticas de misión, visión, objetivos y valores de la institución son:

Misión

Proveer soluciones sobresalientes del Internet de las Cosas, IoT (*Internet of Things*), y de Tecnología Vestible, WT (*Wearable Technology*), que ofrezcan funcionalidad sin precedentes a nuestra vida diaria; mediante la creación de un número infinito de productos de consumo y creando soluciones innovadoras con tecnología propietaria de IoT y WT

Visión

Mejorar vidas, conectando el mundo.

Valores

- Perseverancia
- Excelencia
- Confianza
- Sabiduría

En la Figura 1 se presenta el organigrama de la institución, así como el área de trabajo del residente. Las funciones del residente son propias del proyecto de residencia y se enfocan al diseño, construcción y puesta en operación del sistema integral de medición energética en un torno CNC.

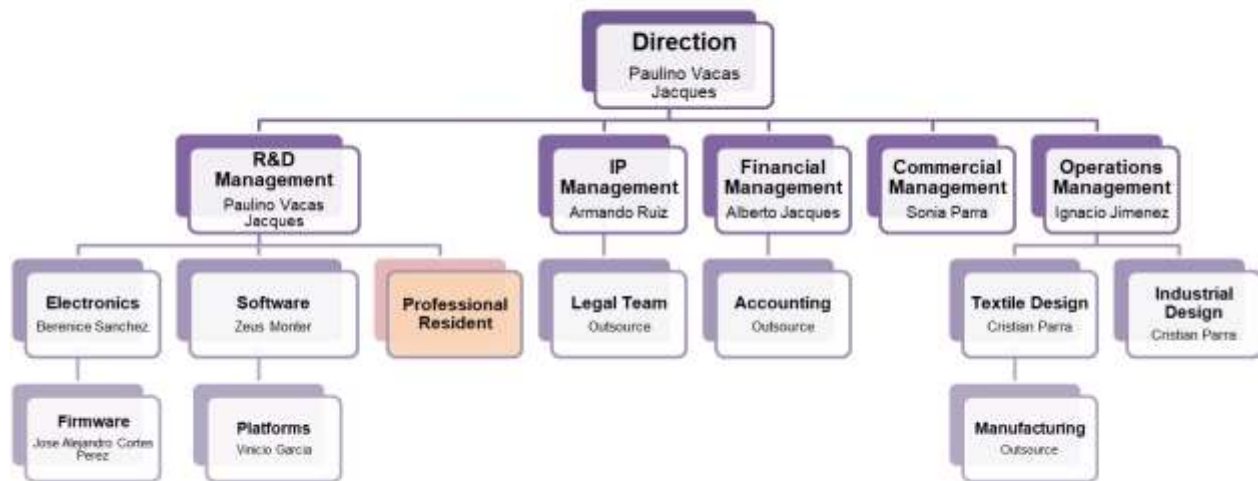


Figura 1. Organigrama de la institución y del área de residencia.

1.2 Problema(s) a resolver

Las tarifas de la energía eléctrica en México, propiamente de la CFE, en el año 2018, sufrieron incrementos hasta de más del 100% lo que represento, para el sector industrial y otros sectores, un gasto económico muy significativo en sus operaciones financieras orillando a adoptar medidas extremas de ahorro de consumo energético como, por ejemplo, dejar de operar en ciertos horarios del día o dejar de suministrar el servicio de suministro de agua potable en comunidades.

Derivado de lo anterior, se han detectado las siguientes áreas de oportunidad:

1.- Sistema integral de medición de energía

- Realizar mediciones cuantitativas de consumos energéticos en un equipo de manufactura especializada de alto consumo de electricidad.
- Determinar el factor de potencia del equipo empleado para determinar acciones de reducción de consumos energéticos.

2.- Sistema de monitoreo de consumos energéticos

- Instalación del equipo de medición multifunción de parámetros de red.
- Cableado y conexión eléctrica (interfaz) maquina-medidor.
- Mediciones experimentales (base de datos).
- Adaptación de módulo de comunicación MoTeBo®.

El sistema integral de medición, mediante un dispositivo medidor multifunción de parámetros de red, asegura que se tengan registros en tiempo real de la energía eléctrica que se consume durante su operación o en modo de espera.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo general

Implementar un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica mediante la puesta en prueba de la *Tecnología IoT MoTeBo®* en la operación de un torno CNC DMTG CKE 6140Z para registrar potencia aparente e interfaz con un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®.

1.3.2 Objetivos específicos

- Construir el sistema de monitoreo de consumo de energía eléctrica mediante la adaptación de un medidor multifunción de parámetros de red a un torno CNC para el registro de potencia aparente.
- Adaptar y lograr la interfaz de comunicación a la nube mediante la conectividad del medidor multifunción y el módulo de comunicación MoTeBo®.

1.4 Justificación

Para el 2017, el consumo de energía eléctrica de la Industria fue de más de 1800 petajoules. Donde la tendencia, desde el año 2015, ha sido en aumento, por lo que se espera que en 2019 la tendencia de demanda de energía eléctrica en la Industria continúe incrementándose.

Para septiembre de 2019, la tarifa eléctrica que aplico la CFE para una tarifa GDMTH para el Bajío fue de \$1.6612 kWh, siendo alrededor del 75% de incremento en relación a la tarifa de enero de 2018. Lo anterior significa que durante 2018 y lo que va de 2019, las industrias han tenido que adoptar medidas de ahorro de consumo de energía eléctrica significantes para no ver mermadas sus utilidades o rendimientos en la facturación de energía eléctrica mal aprovechada. Sobre todo, dentro de sus procesos de producción principales.

Dentro de este panorama un sistema integral de medición de energía eléctrica instalado en diversas áreas o maquinarias permitiría detectar donde se tienen consumos excesivos que no corresponden a una operación normal y que por ende genera fugas de energía que no son bien aprovechadas pero que si son totalmente facturables por la CFE. Detectar estas pérdidas de energía eléctrica en la Industria contribuye a amortiguar el gasto económico que el incremento de tarifas de energía le generará y por ende disminuir sus costos de facturación de energía eléctrica. Adicionalmente, el sistema de medición puede coadyuvar a mejorar sus procesos de producción. Además, el implementar tecnología IoT a este sistema integral de medición de energía eléctrica permitirá al usuario detectar al momento los consumos energéticos en tiempo real e implementar acciones correctivas al momento.

En este proyecto se contempla, como una de estas acciones, la implementación de un sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica con tecnología IoT MoTeBo® por medio de un módulo de comunicación MoTeBo® y acceso a la plataforma MoTeBo®. El estudio se enfocó a la operación de un torno CNC. Esta fuera de alcance del presente proyecto la validación del sistema construido.

II. MARCO TEÓRICO

2.1 Energía eléctrica: usos industriales

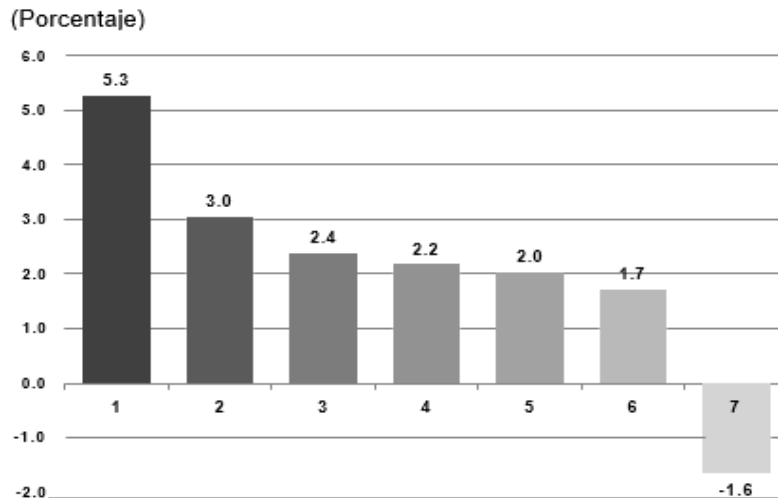
2.1.1 Antecedentes

En 1899, la capacidad instalada para generar energía eléctrica en México era de 31 039 kW (kilowatts) en industrias textiles y mineras, todas de inversión privada. Las concesiones para su instalación fueron otorgadas por autoridades federales, estatales y municipales. En el periodo comprendido de 1897 a 1911 se organizaron más de cien empresas eléctricas (EE) con tecnologías diversas, diferentes frecuencias de generación, voltaje, en corriente alterna y directa. La mayoría eran plantas aisladas para industrias, alumbrado público y pocos servicios domésticos. La primera expansión de la industria eléctrica siguió el mismo patrón caótico que en otros países: multitud de permisos a diversas empresas. La consolidación se forzó con la compra de los competidores con buena fe o con amenazas, disminución de precios de venta o corrupción. En 1925, el crecimiento de la electricidad fue de 31 a 390 MW. El 14 de agosto de 1937, el Ejecutivo Federal creó la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Debido a que a finales de los años treinta seguían existiendo demasiadas empresas privadas eléctricas.¹

2.1.2 Electricidad: en la industria

La industria consume energía eléctrica y puede utilizar cualquier tipo disponible en el mercado: obtenida por hidrocarburos o energías limpias. Por ejemplo, puede utilizar algún combustible que al utilizarse en un motor que alimenta un generador puede producir electricidad o por ejemplo emplear carbón para su quema y generar energía mecánica para mover turbinas.²

En particular, la industria eléctrica (generación, transmisión y distribución de energía eléctrica) es el único sector industrial que aumentó su participación en el PIB (Producto Interno Bruto) nacional de forma continua debido a la alta demanda de energía eléctrica que exige la industria de servicios, del transporte, de la construcción, entre otros, ver Figura 2.³ Se presentan demandas de consumo energético por sector.



Nota: 1. Industria Eléctrica; 2. Actividades Terciarias; 3. Nacional; 4. Actividades Primarias; 5. Industria Manufacturera; 6. Construcción; 7. Minería.
Fuente: Elaborado por SENER con datos del BIE, INEGI 2015.

Figura 2. Tasa media de crecimiento anual 2005 -2018.

La capacidad instalada que tiene México en la presente década, en porcentaje de participación por tecnología, está distribuida de la siguiente manera: Termoeléctricas, 45.1%; Hidro-eléctricas, 21.9%; Carbo-eléctricas, 5.1%; Nucleo-eléctrica, 2.7%; Geotermo-eléctricas, 1.7%; Eolo-eléctricas, 0.2%, y el 23.3% restante corresponde a centrales Termo-eléctricas construidas con capital privado por productores independientes de energía (PIE's), como se puede apreciar en la Figura 3.⁴

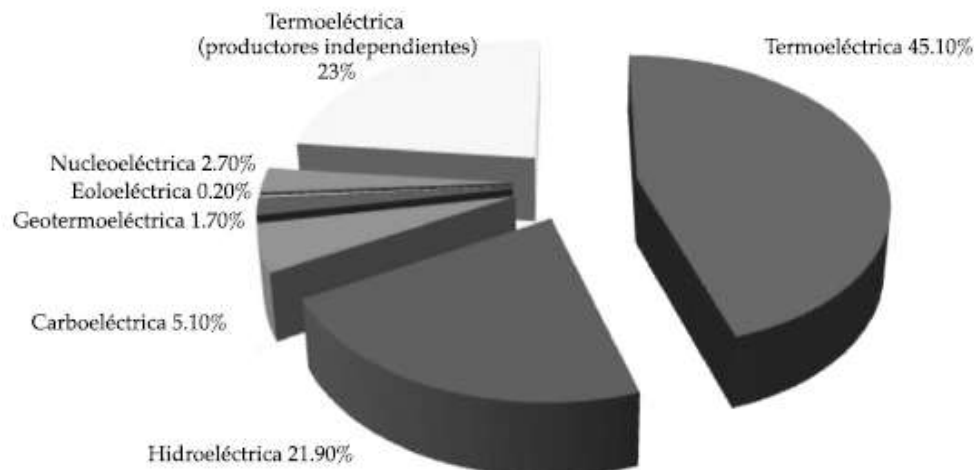


Figura 3. Capacidad instalada en México.

2.2 Tarifas históricas CFE

Actualmente, la Comisión Federal de Electricidad (CFE) es una Empresa Productiva del Estado, propiedad exclusiva del Gobierno Federal, con personalidad jurídica y patrimonio propio, que goza de autonomía técnica, operativa y de gestión, conforme a lo dispuesto en la Ley de la Comisión Federal de Electricidad.⁵ El hecho de que la energía eléctrica no puede ser almacenada, y por lo tanto debe ser generada y suministrada en el mismo instante que se demanda, causa que la determinación de las tarifas eléctricas sea un ejercicio de naturaleza compleja. El costo de suministrar electricidad depende de muchos factores, incluyendo la cantidad de electricidad generada, los combustibles y tecnologías utilizadas, los factores de carga, la capacidad de las líneas de transmisión y distribución, los niveles de voltaje demandados, así como la ubicación de la demanda. La asignación de este costo entre los diferentes tipos de consumidores debe buscar condiciones de equidad, lo cual puede lograrse en la medida que a cada tipo de consumidor se carguen los costos marginales que su demanda impone al sistema.⁶

Hay disponibles varios métodos para fijar las tarifas eléctricas. En general, éstos pueden agruparse en 2 categorías: (i) el enfoque contable, y (ii) el enfoque basado en la teoría económica. Para el primero, la recuperación del costo de la electricidad es de suma importancia, mientras que la administración de la demanda no resulta primordial. Bajo el segundo enfoque, se da prioridad a la utilización eficiente de los recursos, generando señales para el manejo eficiente de la demanda de energía, sobre todo en el largo plazo. Estas señales se fundamentan en cargar a los diferentes usuarios el costo que impone al sistema eléctrico la satisfacción de la energía demandada. El enfoque contable se basa en la recuperación del costo de suministrar la electricidad, más una tasa específica de retorno a la inversión, de tal modo que los precios generen un valor presente neto positivo de flujos de efectivo descontados en un escenario de planeación determinado, con los que se atenderán las expansiones futuras de la red eléctrica. El enfoque económico basado en la determinación del Costo Marginal de Largo Plazo (CMLP), ha ido ganando importancia en los países industrializados, además de que instituciones como el Banco Mundial han favorecido su implantación al utilizar criterios

de eficiencia económica. El enfoque del cálculo del CMLP permite transmitir a los consumidores de energía los costos económicos reales de satisfacer sus necesidades, de manera tal que oferta y demanda coincidan en términos de eficiencia económica.⁷

A diferencia de los cobros por kilowatt hora (kWh) los de demanda (kW), representados por los conceptos de Distribución y Capacidad, tienen un incremento anual un poco más constante por lo que pueden ser más predecibles, ver Figura 4.

Año	Concepto	Promedio de precio	Cambio anual
2001	Distribución	\$10.00	0.00%
2002	Distribución	\$10.00	0.00%
2003	Distribución	\$10.00	0.00%
2004	Distribución	\$10.00	0.00%
2005	Distribución	\$10.00	0.00%
2006	Distribución	\$10.00	0.00%
2007	Distribución	\$10.00	0.00%
2008	Distribución	\$10.00	0.00%
2009	Distribución	\$10.00	0.00%
2010	Distribución	\$10.00	0.00%
2011	Distribución	\$10.00	0.00%
2012	Distribución	\$10.00	0.00%
2013	Distribución	\$10.00	0.00%
2014	Distribución	\$10.00	0.00%
2015	Distribución	\$10.00	0.00%
2016	Distribución	\$10.00	0.00%
2017	Distribución	\$10.00	0.00%
2018	Distribución	\$10.00	0.00%

Figura 4. Promedio de precio y el cambio anual por concepto de las tarifas GDMTH (HM) desde el año 2001.

2.2.1 Demanda industrial en transmisión

Esta tarifa se aplicará a los servicios que destinen la energía a cualquier uso, suministrados en alta tensión, nivel transmisión, y que por las características de utilización de su demanda soliciten inscribirse en este servicio, el cual tendrá vigencia mínima de un año.

Demanda contratada

La demanda contratada la fijará inicialmente el usuario; su valor no será menor del 60% de la carga total conectada, ni menor de la capacidad del mayor motor o aparato instalado. En el caso de que el 60% de la carga total conectada exceda la capacidad de la subestación del usuario, sólo se tomará como demanda contratada la capacidad de dicha subestación a un factor de 90%.

Horario

Para los efectos de la aplicación de esta tarifa, se utilizarán los horarios locales oficialmente establecidos. Por días festivos se entenderán aquellos de descanso obligatorio, establecidos en el artículo 74 de la Ley Federal del Trabajo, a excepción de la fracción IX, así como los que se establezcan por Acuerdo Presidencial.

Cargo por Capacidad

La demanda máxima a la que se deberá aplicar los cargos por capacidad expresados en \$/kW-mes, será la mínima entre los valores que se definen mediante la siguiente formula:

$$\min \left\{ D_{\max_{punta}}, \left[\frac{Q_{\text{mensual}}}{24 * d * F.C.} \right] \right\} \quad (1)$$

Donde $D_{\max_{punta}}$ es la demanda máxima coincidente con el periodo horario de punta medida en kilowatts, Q_{Mensual} es el consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh, d días del periodo de facturación y el $F.C.$ es el factor de carga correspondiente del apartado 3.3.1 del Anexo Único del Acuerdo A/064/2018.

Para el caso de que no haya periodo de punta y los usuarios suministrados en baja y media tensión cuya demanda no se mide, se utilizará la siguiente fórmula:

$$Demanda = \left\{ \left[\frac{Q_{\text{mensual}}}{24 * d * F.C.} \right] \right\} \quad (2)$$

Donde Q_{mensual} es el consumo mensual registrado en el mes de facturación en kWh, d días del periodo de facturación y el $F.C.$ es el factor de carga correspondiente del apartado 3.3.1 del Anexo Único del Acuerdo A/064/2018.

Para los centros de carga que reciban energía por un contrato de interconexión legado, la Q_{mensual} será el consumo mensual suministrado en el mes de facturación por CFE Suministrador de Servicios Básicos.⁸

2.3 Factor de potencia⁹

El factor de potencia (FP) la eficiencia o rendimiento eléctrico de un receptor o sistema eléctrico. El FP es la relación entre la potencia activa (P_a) usada en un circuito, expresada en kilovatios (KW), y la potencia aparente que se obtiene de las líneas de alimentación, expresada en kilovoltio-amperios (KVA). Las cargas industriales en su naturaleza eléctrica son de carácter reactivo. Este carácter reactivo obliga que junto al consumo de P_a se sume el de una potencia llamada reactiva (Q), las cuales en su conjunto determinan el comportamiento operacional de los equipos y motores empleados en la industria.

La Q , la cual no produce un trabajo físico directo en los equipos, es necesaria para producir el flujo electromagnético que pone en funcionamiento elementos tales como: motores, transformadores, lámparas fluorescentes, equipos de refrigeración y otros similares. Cuando la cantidad de estos equipos es apreciable, los requerimientos de Q también se hacen significativos, lo cual produce una disminución del FP. Un alto consumo de energía reactiva puede producirse como consecuencia principalmente de un gran número de motores, presencia de equipos de refrigeración y aire acondicionado, mala planificación y operación en el sistema eléctrico y un mal estado físico de la red eléctrica y de los equipos de la industria.

El hecho de que exista un bajo FP en la industria produce los siguientes inconvenientes para el usuario: aumento de la intensidad de corriente, caídas de tensión, reducción de su vida útil y reducción de la capacidad de conducción de los conductores y sobretodo aumentos en sus facturas por consumo de electricidad.

2.3.1 Potencia aparente¹⁰

Representada comúnmente por la letra S , también es llamada Potencia Eléctrica Total, la cual es utilizada en un sistema eléctrico por una instalación industrial o comercial de corriente alterna y tiene dos componentes:

- **Potencia Activa** que produce trabajo y se mide en KW.
- **Potencia Reactiva.** Esta potencia es la utilizada para genera los campos magnéticos requeridos por los aparatos eléctricos.

Como vemos en un receptor en corriente alterna tenemos 3 potencias diferentes, pero relacionadas entre sí. La potencia aparente o total es la suma vectorial de la potencia activa y la reactiva. Se suelen representar mediante el llamado triángulo de potencias, ver Figura 5.

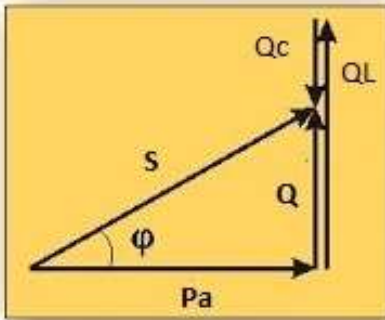


Figura 5. Triangulo de potencias en alterna

Donde S representa la Potencia Aparente, la Pa es la Potencia Activa y la Q es la Potencia Reactiva. De las 3 solo se transforma en trabajo útil la Pa. La S o aparente es la que consume en total el receptor, y la Q será las pérdidas de potencia que tenga.

2.4 VARIABLES DE MEDICIÓN DE POTENCIA Y ENERGÍA¹¹

Se establece una serie de variables para el cálculo del uso de energía por un dispositivo eléctrico o una colección de dispositivos o determinar la energía necesaria para alimentar un componente o aparato durante un período de tiempo determinado, es decir, determinar la energía utilizada por un circuito o componente en un tiempo integral de la energía eléctrica.

Potencia

La potencia es la velocidad a la que se realiza el trabajo, o la velocidad a la que se consume o produce energía, y se mide en vatios (W), en otras palabras, es la

potencia eléctrica producida por una corriente eléctrica cada determinado periodo de tiempo.

Energía

En cualquier intervalo de tiempo dado, la energía eléctrica consumida (o proporcionada, dependiendo de su perspectiva) se puede relacionar con la energía total consumida con el poder integrando con el tiempo, es decir es una relación de potencia y tiempo.

Unidades

El concepto de consumo de energía eléctrica se relaciona al consumo de kilovatios-hora por mes como unidad de medida convencional.

2.5 INSTALACIONES Y CONEXIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES¹²

La acometida eléctrica de las instalaciones eléctricas industriales puede ser de media, alta o baja tensión. Las instalaciones eléctricas industriales tienen una gran relevancia ya que un diseño inadecuado puede provocar desde el paro temporal de las operaciones de la empresa hasta accidentes y daños materiales de consideración que pueden dejar a la empresa fuera de servicio como por ejemplo conatos de incendio. Por lo anterior las instalaciones eléctricas industriales se encuentran estrictamente reguladas y las normas que las cubren abarcan toda la gama de opciones de instalaciones eléctricas industriales en media tensión o en baja tensión bajo la NOM-001-SEDE 2012.

El componente distintivo de las instalaciones eléctricas industriales es la subestación eléctrica y es la instalación que recibe de manera segura la energía proveniente de la red de suministro y la transforma y distribuye en los diferentes niveles de tensión que se requieran en la instalación eléctrica industrial. Además, existen una gran variedad de protecciones que deben ser incluidas en las instalaciones eléctricas industriales como son interruptores termo magnéticos, interruptores electromagnéticos, fusibles, apartar rayos, etc., que tiene como misión proteger de manera escalonada o coordinada la instalación eléctrica industrial. Para hacer una instalación eléctrica

industrial, se tienen que tomar en cuenta desde un principio, la totalidad de los circuitos de fuerza, de iluminación y de sistemas especiales tanto en nuevas construcciones como remodelaciones, que contenga todas las condiciones técnicas y garantías de seguridad. En la Figura 6 y 7 se presentan ejemplos de subestaciones eléctricas compactas industriales.¹³



Figura 6. Subestación eléctrica tipo compacta dentro de una industria.



Figura 7. Subestación perfectamente instalada con su conexión eléctrica con su correcto enrutamiento.

2.5.1 Condiciones generales en instalaciones eléctricas industriales¹⁴

Todas las instalaciones eléctricas, tienen que estar correctamente protegidas contra efectos peligrosos térmicos y dinámicos, que se puedan producir como consecuencia de corrientes de cortocircuito, y las de sobrecarga, cuando éstas puedan producir averías y daños tanto en las citadas instalaciones eléctricas, como en maquinaria o equipos y motores.

Motores y maquinaria para instalaciones industriales

Las instalaciones de motores deben de realizarse conforme a las normas vigentes, y cumpliendo la normativa específica de ubicación y emplazamiento. En materia de ubicación de cada motor, deberán guardar la distancia necesaria para evitar que puedan causar accidentes por proximidad entre ellos al entrar en funcionamiento. La maquinaria deberá situarse lejos de un posible contacto con materiales, o elementos inflamables.¹⁴

2.5.2 Conductores de conexión eléctricos industriales

Los conductores de conexión en las instalaciones eléctricas industriales, deberán tener una sección mínima en función de la cantidad de motores instalados, con objeto de evitar calentamientos excesivos, siguiendo los siguientes criterios:

1. Si hay un solo motor, los conductores se dimensionarán a una intensidad de 125% de la intensidad a carga completa del motor.
2. Si se trata de motores de rotor devanado, en la conexión eléctrica de estos con el interruptor o dispositivo de arranque, los conductores tienen que estar igualmente dimensionados para el 125% de la intensidad a plena carga del rotor.
3. En motores de rotor para servicio intermitente, dependiendo del tiempo continuado de funcionamiento, la conexión eléctrica de estos al dispositivo de arranque podrá disminuirse la sección, pero nunca podrá ser inferior al 85% de la intensidad a plena carga en el rotor.
4. En conexiones eléctricas de conductores que alimentan a varios motores, el criterio será que los conductores estén dimensionados para una intensidad igual

a la suma del 125% de la intensidad a plena carga del que tenga más potencia más la intensidad a plena carga del resto de motores.

Protección contra sobre-intensidades

Los motores y maquinaria deben estar protegidos en todas sus fases, contra sobrecargas y cortocircuitos. En los motores trifásicos se deben montar los elementos de protección de la instalación eléctrica, que eviten los riesgos por falta de tensión en alguna de sus fases. Hay que asegurar también la protección independiente para los motores con arrancadores en estrella y triángulo, con protecciones específicas para sus respectivas conexiones eléctricas, y en función de las características específicas de los fabricantes de los motores y condiciones de servicio previstas.

Protección contra la falta de tensión

En las instalaciones eléctricas en industrias, siempre se deberá prever la falta de tensión, en condiciones en que el arranque del motor tras la caída de tensión pueda provocar cualquier accidente o incluso perjudicar al motor, protegiendo cada uno mediante un dispositivo de corte automático de corriente. El dispositivo protector por falta de tensión, puede colocarse dentro de la instalación eléctrica, formando parte de la protección para sobrecargas o arranque. El protector de falta de tensión, puede ser común a varios motores en la instalación eléctrica, si se cumplen las siguientes condiciones:

- Cuando la suma de potencia de todos los motores no sea superior a 10 kilovatios, y todos los motores o máquinas se encuentren en un mismo local.
- Cuando todos los motores instalados en un mismo local, y cada uno de ellos vuelvan al estado inicial de arranque tras la caída de tensión.
- En los casos en que los motores arranquen automáticamente en las condiciones preestablecidas, no se exigirá dispositivo de protección contra la falta de tensión, siempre que quede totalmente excluido un posible accidente por arranque espontáneo.
- Para que los motores que tengan que llevar limitadores de potencia absorbida en el arranque queden incluidos en la excepción anterior, tienen que volver de forma

automática a la posición de inicio o arranque si se ha producido una parada del motor por falta de tensión.

Sobre intensidades de arranque

Los motores, tienen que estar limitados en su intensidad de arranque cuando ello pueda producir efectos que perjudiquen a la instalación eléctrica, u ocasionen perturbaciones inaceptables al funcionamiento de otras instalaciones o receptores. Si la alimentación de la instalación eléctrica a los motores se va a realizar desde una red de distribución pública, habrá que contar con la autorización de la empresa que realiza el suministro en los siguientes casos:

- Motores de arranque lento en carga y motores de gran inercia.
- Motores de arranque o aumento de carga frecuente o repetida.
- Motores para inversión de marcha, y motores para frenado.

En las instalaciones eléctricas industriales, todos los motores con potencias superiores a 0,75 kilovatios, tienen que disponer de reóstatos de arranque, que permitan que la relación entre la corriente de arranque y la de marcha normal a plena carga, en función de las características indicadas en su placa, sean superiores a las que a continuación se especifican en la Figura 8.¹⁵

2.6 Medidor multifunción SIEMENS SENTRON PAC3100¹⁶

Es un dispositivo multidisciplinario de medición y visualización de parámetros de red / contador de energía activa y reactiva / interfaz RS-485 / IP 65 en la parte frontal / simple instalación y puesta en marcha. El Sentron PAC3100 es un compacto potente dispositivo de monitoreo de energía adecuado para uso en industrial, gobierno y comerciales aplicaciones, donde la medición básica y la energía Se requiere monitoreo. El medidor puede ser utilizado como un dispositivo autónomo que supervisa veinticinco parámetros o como parte de una industria control, automatización de edificios o potencia global sistema de monitoreo. Las aplicaciones de medición y supervisión van desde simples medidores analógicos de voltios y amplificadores hasta instalaciones independientes de subfacturación o asignación costo.

MOTORES CORRIENTE CONTINUA

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR	Constante máxima de proporcionalidad entre intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga
De 0,75 kW a 1,5 kW	2,5
De 1,05 kW a 5,0 kW	2,0
De más de 5,0 kW	1,5

MOTORES CORRIENTE ALTERNA

POTENCIA NOMINAL DEL MOTOR	Constante máxima de proporcionalidad entre intensidad de la corriente de arranque y la de plena carga
De 0,75 kW a 1,5 kW	4,5
De 1,5 kW a 5,0 kW	3,0
De 5,0 kW a 15,0 kW	2,0
De más de 15,0 kW	1,5

Figura 8. Características de placa para la instalación de motores en corriente continua y corriente alterna.

El PAC3100 tiene muchas características que no suelen encontrarse en esta clase de medidores. Una pantalla gráfica grande admite varios idiomas y menús fáciles de usar que se pueden utilizar para configurar el medidor, así como un programa basado en PC, Sentron PAC 3100 PowerConfig, que se puede utilizar para pre-configurar una o varias unidades. El medidor también ha incorporado comunicaciones Modbus RTU a través de una interfaz RS485. El medidor viene estándar con dos entradas y salidas digitales. Una salida es adecuada para la salida de pulsos para exportar/importar energía real y reactiva. La otra salida se puede controlar desde una externa mediante un registro Modbus. El PAC3100 cumple o supera la norma ANSI C12.16 (1%) especificación para los medidores industriales. El Sentron PAC 3100

proporciona comunicaciones abiertas mediante Modbus RTU y E/S digital es fácil integrarse en cualquier sistema de monitoreo local o remoto para indicar valores y status. La configuración simple del medidor se puede hacer desde la pantalla frontal o mediante el uso de un PC con Sentron PAC 3100 PowerConfig software de configuración, suministrado con el medidor. El Sentron PAC 3100 también se puede utilizar para apoyar la certificación LEED (sigla de *Leadership in Energy & Environmental Design*¹⁷) y proporcionar los datos de medición de energía necesarios para los programas de reducción de energía del gobierno federal o local. En la Figura 9 se presenta una imagen del equipo Sentron PAC3100.



Figura 9. Medidor multifunción Siemens Sentron PAC3100.

En la Tabla 1 se muestran las magnitudes que pueden medirse por el equipo Sentron PAC3100 en función del tipo de conexión.

Tabla 1. Visualización de magnitudes medidas en función del tipo de conexión.

Magnitud medida	Tipo de conexión	3P4W	3P3W
Tensión L1-N		✓	
Tensión L2-N		✓	
Tensión L3-N		✓	
Tensión L1-L2		✓	✓
Tensión L2-L3		✓	✓
Tensión L3-L1		✓	✓
Corriente L1		✓	✓
Corriente L2		✓	✓
Corriente L3		✓	✓
Corriente por neutro		✓	
Potencia aparente L1		✓	
Potencia aparente L2		✓	
Potencia aparente L3		✓	
Potencia activa L1		✓	
Potencia activa L2		✓	
Potencia activa L3		✓	
Potencia reactiva L1 (Q1)		✓	
Potencia reactiva L2 (Q1)		✓	
Potencia reactiva L3 (Q1)		✓	
Potencia aparente total de todas las fases		✓	✓
Potencia activa total de todas las fases		✓	✓
Potencia reactiva total Q1 de todas las fases		✓	✓
Factor de potencia total		✓	✓
Frecuencia de red		✓	✓
Energía activa		✓	✓
Energía reactiva		✓	✓
Potencia activa acumulada		✓	✓
Potencia reactiva acumulada		✓	✓

2.6.1 Ejemplos de conexión¹⁸

- Medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P4W. Ver Figura 10.

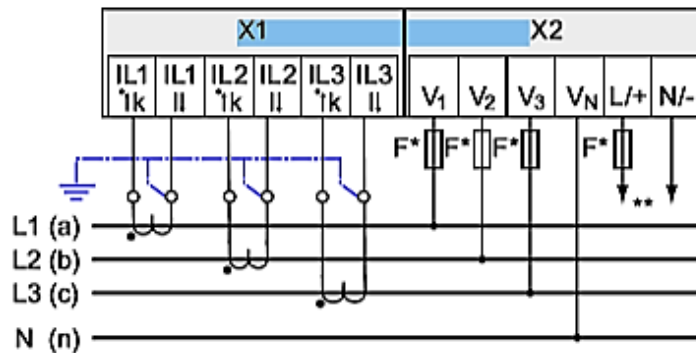


Figura 10. Tipo de conexión 3P4W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

- Medición trifásica, tres conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente. Tipo de conexión 3P3W. Ver Figura 11.

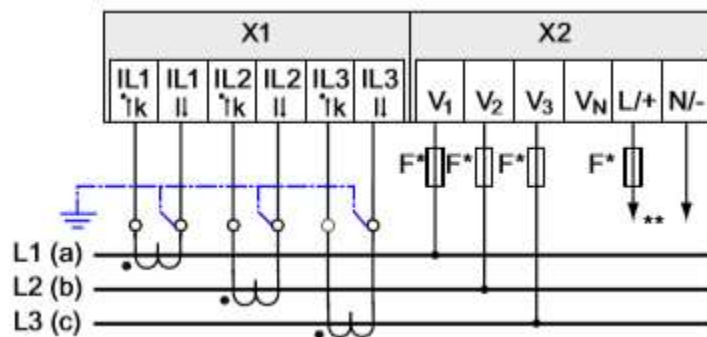


Figura 11. Tipo de conexión 3P3W, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente.

2.7 Torno CNC

Máquina de arranque de viruta, utilizada para mecanizar piezas de revolución mediante el software de computadora de datos alfanuméricos con el objetivo de producir con seguridad de rigidez, precisión y repetitividad grandes cantidades de piezas. En palabras más simples, es controlar y monitorear los movimientos de una máquina- herramienta que puede ser estática o portátil mediante el uso de una computadora; son muy versátiles ya que realizan funciones de taladrado y giros.

El programa de mecanizado permite desplazarse sobre los ejes x, y, z realizando cortes verticales, horizontales y curvos de forma simultánea e intercalada logrando realizar mecanizados cónicos o esféricos, se pueden modificar parámetros del avance de los carros transversal y longitudinal, las cotas de ejecución de la pieza y la velocidad de giro del cabezal portapiezas. En la Figura 12 se observa un torno CNC.



Figura 12. Torno CNC DMTG CKE 6140Z

2.7.1 Tipos de Tornos CNC

Existen diferentes tipos de tornos CNC los cuales tienen diferentes usos debido a sus características:¹⁹

- Torno CNC de bancada inclinada
- Torno CNC de bancada plana
- Tornos paralelos universales CNC
- Tornos Verticales CNC

En la Figura 13 se presentan diferentes tipos de tornos.



Figura 13.Tipos de torno

2.7.2 Funcionamiento

Los ejes X, Y y Z pueden desplazarse simultáneamente en forma intercalada, dando como resultado mecanizados cónicos o esféricos según la geometría de las piezas. Las herramientas se colocan en portaherramientas que se sujetan a un cabezal que puede alojar hasta 20 portaherramientas diferentes que rotan según el programa elegido, facilitando la realización de piezas complejas. En el programa de mecanizado se pueden introducir como parámetros la velocidad de giro de cabezal portapiezas, el avance de los carros longitudinal y transversal y las cotas de ejecución de la pieza. La máquina opera a velocidades de corte y avance muy superiores a los tornos convencionales por lo que se utilizan herramientas de metal duro o de cerámica para disminuir la fatiga de materiales.

2.7.3 Partes del torno CNC

Motor y cabezal principal

Este motor limita la potencia real de la máquina y es el que provoca el movimiento giratorio de las piezas, normalmente los tornos actuales CNC equipan un motor de corriente continua, que actúa directamente sobre el husillo con una

transmisión por poleas interpuesta entre la ubicación del motor y el husillo, siendo innecesario ningún tipo de transmisión por engranajes. Estos motores de corriente continua proporcionan una variedad de velocidades de giro casi infinita desde cero a un máximo determinado por las características del motor, que es programable con el programa de ejecución de cada pieza. Muchos motores incorporan dos gamas de velocidades uno para velocidades lentas y otro para velocidades rápidas, con el fin de obtener los pares de esfuerzo más favorables.

Bancada y carros desplazables

Cada carro tiene un motor independiente que pueden ser servomotores o motores encoder que se caracterizan por dar alta potencia y alto par a bajas revoluciones. Estos motores funcionan como un motor convencional de Motor de corriente alterna, pero con un encoder conectado al mismo. El encoder controla las revoluciones exactas que da el motor y frena en el punto exacto que marque la posición programada de la herramienta.

Ajuste posicionamiento de carros

A pesar de la calidad de los elementos que intervienen en la movilidad de los carros longitudinal y transversal no hay garantía total de poder conseguir la posición de las herramientas en la cota programada. Para corregir los posibles fallos de posicionamiento hay dos sistemas electrónicos uno de ellos directo y el otro sistema indirecto. El sistema de ajuste de posicionamiento directo utiliza una regla de medida situada en cada una de las guías de las bancadas, donde actúa un lector óptico que mide exactamente la posición del carro, transfiriendo a la UCP (Unidad Central de Proceso) las desviaciones que existen donde automáticamente se reprograma hasta conseguir la posición correcta.

Portaherramientas

El torno CNC utiliza un tambor como portaherramientas donde pueden ir ubicados de seis a veinte herramientas diferentes, según sea el tamaño del torno, o de su complejidad. El cambio de herramienta se controla mediante el programa de

mecanizado, y en cada cambio, los carros retroceden a una posición donde se produce el giro y la selección de la herramienta adecuada para proseguir el ciclo de mecanizado.

Accesorios y periféricos

Se conocen como accesorios de una máquina aquellos equipamientos que formando parte de la misma son adquiridos a un proveedor externo, porque son de aplicación universal para ese tipo de máquina. Por ejemplo, la batería de un automóvil es un accesorio de mismo. Todas las máquinas que tienen incorporado su funcionamiento CNC, necesitan una serie de accesorios que en el caso de un torno se concretan en los siguientes:²⁰

- UCP (Unidad de Control de Proceso)
- Gráficos dinámicos de sólidos y de trayectoria
- Editor de perfiles
- Periféricos de entrada
- Periféricos de salida

En la Figura 14 se observan las partes de un torno convencional.

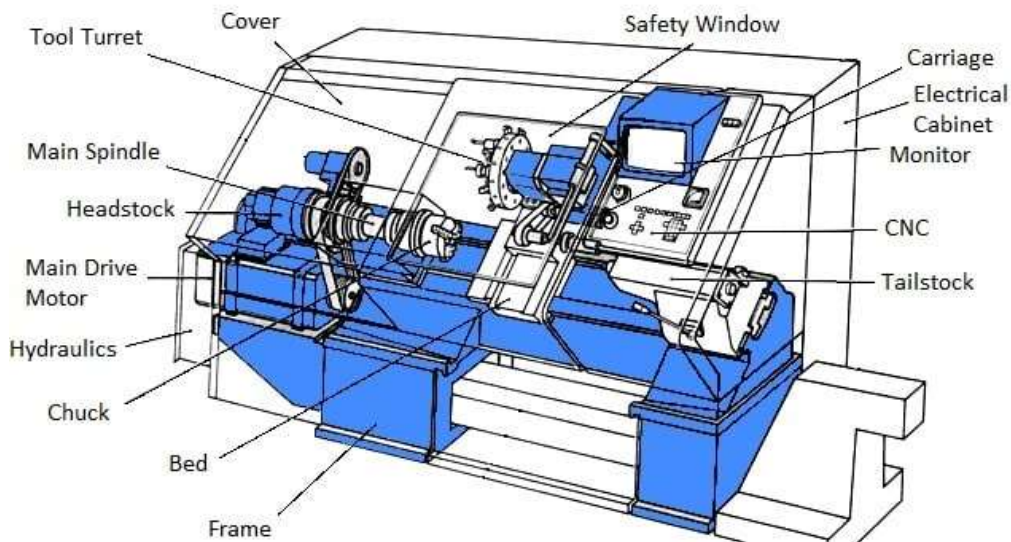


Figura 14. Partes de un torno.

2.8 Módulo de comunicación MoTeBo® y plataforma de comunicación MoTeBo®

Por disposiciones y políticas de confidencialidad e instrucciones de la empresa, al catalogar estos dispositivos como “secreto industrial” no se presenta información alguna en este documento.

2.9 comunicación Modbus RTU vía interfaz RS485: centro de control

El protocolo Modbus RTU vía interfaz RS485 es el medio de comunicación con el módulo de comunicación MoTeBo® y plataforma de comunicación MoTeBo®. El protocolo Modbus se usa ampliamente en la automatización de la producción, muchos dispositivos son compatibles con el protocolo de comunicación Modbus RTU, que utiliza una interfaz en serie. Por lo general, los dispositivos tienen una interfaz RS-232 o RS-485 con un conector DB-9 o un bloque de terminales. Los dispositivos Modbus RTU son fáciles de implementar y económicos de mantener. Es por eso que el protocolo Modbus RTU se ha vuelto tan popular. Hoy, cada vez más dispositivos industriales están comenzando a admitir el estándar Ethernet. La complejidad y la escala de las redes están aumentando. Muchos sistemas ya funcionan a través de Modbus TCP utilizando Ethernet, por ejemplo, SCADA. Como resultado, existen problemas de interfaz entre Modbus RTU y los protocolos Modbus TCP.²¹

2.9.1 Descripción del protocolo Modbus RTU

El protocolo de comunicación Modbus se basa en la arquitectura maestro-esclavo. Utiliza interfaces RS-485, RS-422, RS-232, así como redes Ethernet TCP / IP (protocolo Modbus TCP) para la transferencia de datos. El mensaje Modbus RTU consiste en la dirección del dispositivo SlaveID, el código de función, los datos especiales, dependiendo del código de función y el CRC de la suma de verificación. Si descarta la dirección SlaveID y la suma de verificación CRC, obtiene la PDU, Unidad de datos de protocolo. SlaveID es la dirección del dispositivo, puede tomar un valor de 0 a 247, las direcciones de 248 a 255 están reservadas. Los datos en el módulo se

almacenan en 4 tablas, Dos tablas son de solo lectura y dos son de lectura-escritura. Se colocan 9999 valores en cada Tabla, ver Tabla 2.²²

Tabla 2. Identificación y acción realizada por los registros.

NÚMERO DE REGISTRO	REGISTRAR DIRECCIÓN HEX	TIPO	NOMBRE	TIPO
1-9999	0000 a 270E	leer escribir	Bobinas de salida discreta	HACER
10001-19999	0000 a 270E	leer	Contactos de entrada discretos	DI
30001-39999	0000 a 270E	leer	Registros de entrada analógica	AI
40001-49999	0000 a 270E	leer escribir	Registros de retención de salida analógica	AO

2.9.2 Descripción de la interfaz RS-485

En la industria, la interfaz más común es RS-485 (EIA-485), porque el RS-485 utiliza una topología multipunto, que le permite conectar varios receptores y transmisores.

La interfaz RS-485 es similar a la RS-422 en que también usa una señal diferencial para la transmisión de datos. Hay dos tipos de RS-485:

- RS-485 con 2 contactos, funciona en modo semidúplex
- RS-485 con 4 contactos, funciona en modo dúplex completo

En modo dúplex completo, puede recibir y transmitir datos simultáneamente, y en modo semidúplex transmitir o recibir. En un segmento de la red RS-485 puede haber hasta 32 dispositivos, pero con la ayuda de repetidores adicionales y amplificadores de señal de hasta 256 dispositivos. Al mismo tiempo, solo un transmisor puede estar activo. En la Figura 15 se presenta el esquema básico de conexión de la interfaz RS-485 y en la Figura 16 se presenta una topología RS-485.

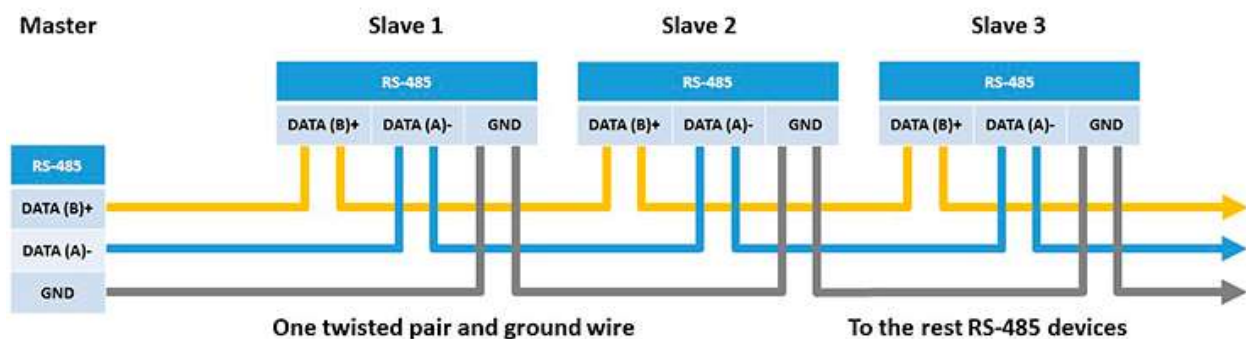


Figura 15. Esquema básico de conexión de la interfaz RS-485.

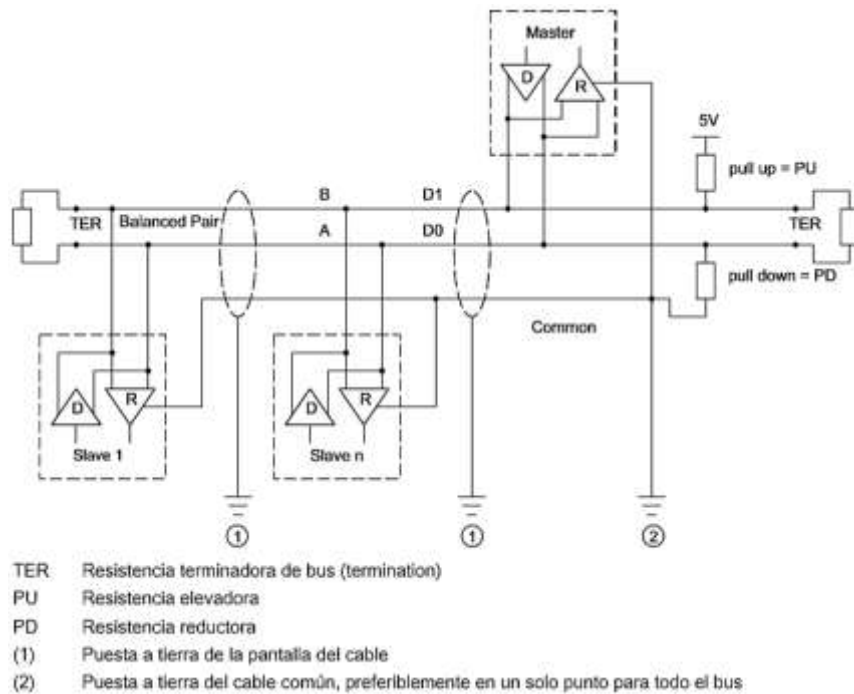


Figura 16. Esquema de conexiones: Topología RS 485 general.

2.9.3 RS-232, RS-422 y RS-485

Las designaciones RS-232, RS-422 y RS-485 se refieren a interfaces para la transmisión de datos digitales. El estándar RS-232 es mejor conocido como un puerto COM de computadora normal o puerto serie (aunque Ethernet, FireWire y USB también pueden considerarse como un puerto serie). Las interfaces RS-422 y RS-485 son ampliamente utilizadas en la industria para conectar varios equipos y obtener distintas ventajas.²³ En la Tabla 3 se identifican algunas características de cada puerto.

Tabla 3. Identificación y acción realizada por los registros.

Nombre del puerto	RS-232	RS-422	RS-485
Tipo de transferencia	Duplex completo	Duplex completo	Half duplex (2 cables), full duplex (4 cables)
Distancia máxima	15 metros a 9600 bps	1200 metros a 9600 bps	1200 metros a 9600 bps
Contactos en uso	TxD, RxD, RTS, CTS, DTR, DSR, DCD, GND *	TxA, TxB, RxA, RxB, GND	Datos A, Datos B, GND
Topología	Punto a punto	Punto a punto	Multipunto
Max. Cantidad de dispositivos conectados	1	1 (10 dispositivos en modo de recepción)	32 (con repetidores más grandes, generalmente hasta 256)

III. PROCEDIMIENTO Y DESCRIPCIÓN DE LAS ACTIVIDADES REALIZADAS

3.1 Construcción del sistema de monitoreo integral de medición de energía eléctrica.

3.1.1 Diseño y manufactura del gabinete.

Para el diseño del gabinete se tomó como base modelos de las marcas Himel y ABB con el fin de identificar qué características debía cumplir el nuestro, encontrándose que las dimensiones, el material, el método de empotramiento, el mecanismo de la puerta y la cerradura eran las más importantes. Tomando en cuenta esto se procedió a la medición de los componentes a introducir en la caja con la finalidad de obtener el espacio suficiente para la conexión de estos. En el Anexo 1 se especifican las dimensiones de la caja de control.

Ya con las dimensiones de los componentes se inició con el diseño del gabinete en sí, utilizando SolidWorks debido a que es el software que se ha usado a lo largo de la carrera además de sus amplias herramientas y aplicaciones que contiene. Una vez teniendo el diseño 3D se utilizó la herramienta chapa metálica del software CAD para crear la plantilla de corte de las piezas que conforman el gabinete, mismas que tendrían que ser exportadas al formato DXF. En la Figura 17 se observa un diseño de chapa metálica en SolidWorks.



Figura 17. Chapa metálica SolidWorks

Una vez obtenido las piezas en formato DXF, se llevaron al programa para vectorizar los trazos y obtener así las coordenadas a seguir por la máquina. Habiendo concluido esto se inició el proceso de corte en la plasma, utilizando una lámina de acero de 1.5mm. En la Figura 18 se observa el equipo de plasma empleado.



Figura 18. Cortadora plasma LINCOLN ELECTRIC 4400.

Luego del proceso de corte las piezas fueron pulidas para remover cualquier excedente de material dejado por la cortadora, para después doblar cada una de las piezas en la prensa. Todos los dobleces fueron de 90°. En la Figura 19 se presenta el equipo cortador empleado.



Figura 19. Prensa hidráulica MACOS

Se hicieron perforaciones en las pestañas de los laterales y la base para la colocación de remaches y así unir ambas piezas para formar el volumen del gabinete. Entonces se agregaron algunos puntos de soldadura para sellar las uniones entre base y laterales. Ya teniendo el gabinete ensamblado se hicieron perforaciones en la puerta y la base para colocar las bisagras también por medio de remaches. Se adhirió una capa de pintura antielectrica en el interior y exterior de todo el gabinete para evitar cortocircuitos y después una pintura para dar apariencia color aluminio. Finalmente se acoplo la cerradura en la puerta.

3.1.2 Instalación del gabinete.

Se hicieron las perforaciones correspondientes en la pared a un lado del registro principal de encendido y apagado de máquinas del laboratorio de manufactura esto con el fin de que el equipo de monitoreo estuviera cerca de las líneas de alta tensión facilitando así el proceso de cableado. Después se insertaron los taquetes para finalmente empotrar el gabinete utilizando tornillos 1/4" cuidando la nivelación del equipo. En la Figura 20 se observa un lay out del sitio de instalación en el taller de manufactura.

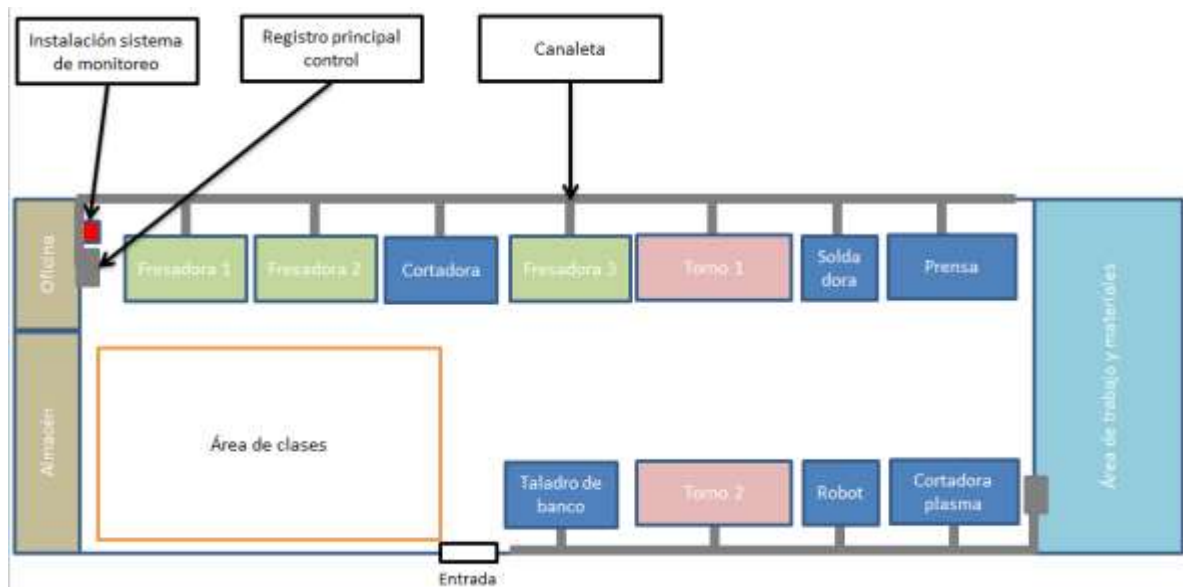


Figura 20. Layout sitio de instalación de caja de conexiones.

3.1.3 Diseño y manufactura de porta transformador.

Se realizó el diseño en SolidWorks de una pieza para contener y fijar los transformadores de corriente al gabinete. Para esto se basó en las dimensiones, formas y mecanismos de sujeción de los transformadores de corriente. Una vez concluido el diseño se exportó a formato STL para ser impreso en ABS en impresora 3d. En la Figura 21 se observa el esquema de un transformador de corriente empleado.

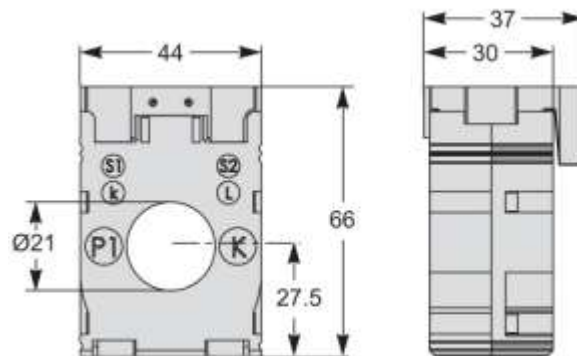


Figura 21. Dimensiones del transformador de corriente

3.1.4 Diseño y manufactura de mecanismo de sujeción del Sentron PAC 3100

Se realizó el diseño en SolidWorks del mecanismo de sujeción del Sentron PAC 3100 a la puerta del gabinete, para esto se utilizaron los bornes de acople para el mecanismo de sujeción original del Sentron PAC 3100, ver Figura 22. Una vez concluido el diseño se exportó a formato STL para ser impreso en ABS en impresora 3d, ver Figura 23.

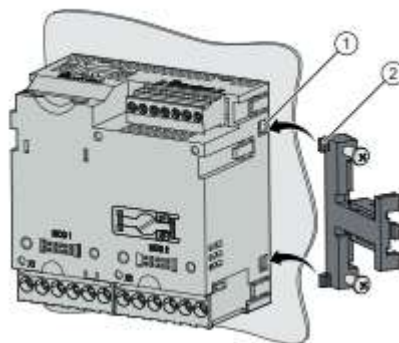


Figura 22. Mecanismo de enclave original.



Figura 23. Impresora ENDER 3.

Se hizo ensamble de todos los componentes. El Sentron PAC 3100 se fijó a la puerta utilizando el mecanismo diseñado, las donas se instalaron en el fondeo del gabinete usando el porta transformadores diseñado.

3.1.5 Conexión

El tipo de conexión utilizada fue medición trifásica, cuatro conductores, carga desbalanceada, sin transformador de tensión, con tres transformadores de corriente (3P4W). Este tipo de conexión ofrece la medición de más magnitudes físicas por parte del Sentron PAC 3100 con base al manual.

Una vez que se seleccionó el tipo de conexión se procedió al proceso de cableado iniciando con la identificación de las tres líneas que alimentan el torno, ya identificadas se introdujeron dentro del gabinete del medidor haciendo uso de los conectores metálicos de entrada y de salida acoplados para la protección de estos. Cada una de las líneas fue introducida en su correspondiente transformador de corriente. Al final de las líneas se conectó un cable a de cada una de ellas y se agregó un cable de tierra y un neutro para ser reintroducidos devuelta al gabinete a un bloque de terminales, esto con el fin de contar con las conexiones de tensión para el Sentron PAC 3100 y así evitar hacer las conexiones en los cables principales de las líneas, ver

Figura 24. Ya habiendo tenido las líneas conectadas se continuó con el cableado hacia el Sentron PAC 3100.

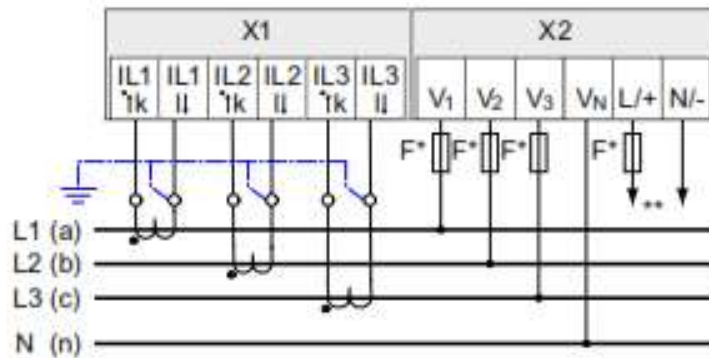


Figura 24. Conexión en estrella.

Se conectaron los transformadores hacia la corriente de entrada y corriente de salida de cada línea. Después se conectaron las líneas puestas en el bloque de terminales al Sentron PAC 3100, colocando entre ellos un fusible de protección de 1A y por último se conectó la alimentación del Sentron PAC 3100, ver Figura 25.



Construcción de estación de trabajo para toma de lecturas mediante la adaptación del equipo de medición al módulo de comunicación MoTeBo® mediante interfaz RS485, ver Figura 26.

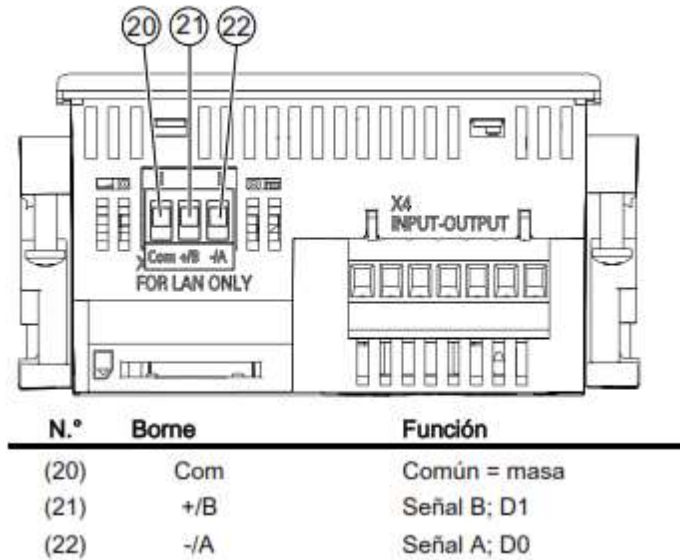


Figura 26. Rotulación de bornes RS485

3.2.1 Conexión al bus RS485 Sentron Pac3100

Se conectó el Sentron PAC 3100 al bus RS 485 a través de la interfaz integrada utilizando cable de red. Para ello se conectaron los cables a los bornes del tornillo del bloque de bornes y debido a que el Sentron PAC 3100 no admite el terminador de bus se conectó una resistencia externa terminadora de bus de 100Ω entre los bornes -/A y -/B del bloque de bornes RS 485. El cable de red fue ponchado con un conector RJ45 para ser conectado al cople RJ45 instalado en el gabinete.

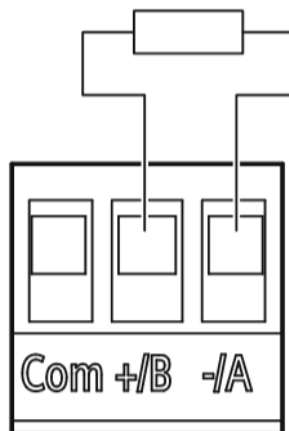


Figura 27. Conector bus RS485

En la Figura 28 se muestra como es la conexión entre maestro y esclavo utilizando la interfaz R2485.

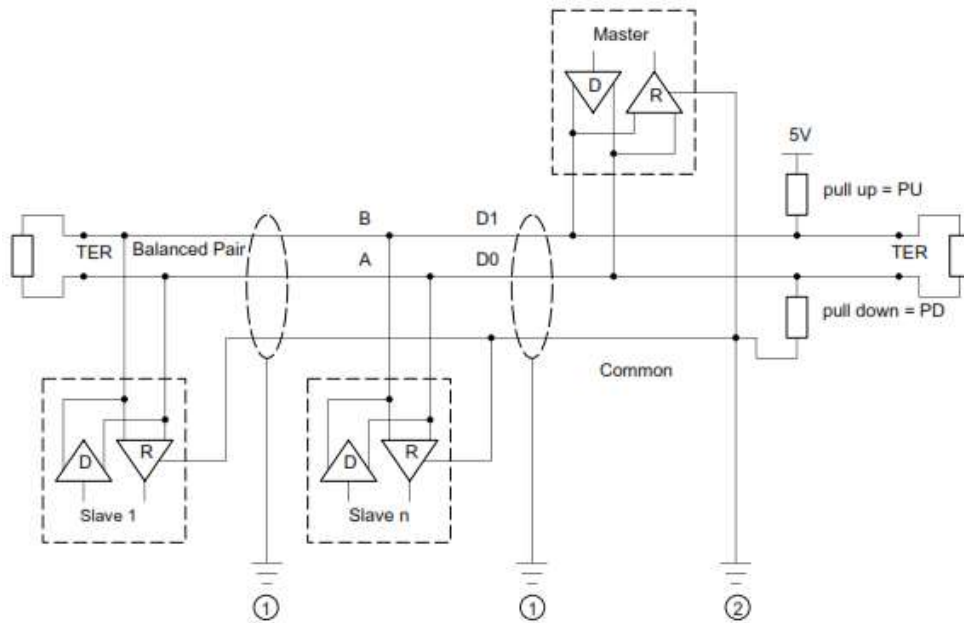


Figura 28. Esquema maestro/esclavo.

TER Resistencia terminadora de bus

PU Resistencia elevadora

PD Resistencia reductora

(1) Puesta a tierra de la pantalla del cable

(2) Puesta a tierra del cable común, preferiblemente en un solo punto para todo el bus

PAC 3100 no admite la polarización de los cables de datos RS 485. La parte de polarización es realizada por la shield arduino Xbee V5 por lo cual no fue necesario agregar las resistencias elevadoras y reductoras, ver Figura 29.

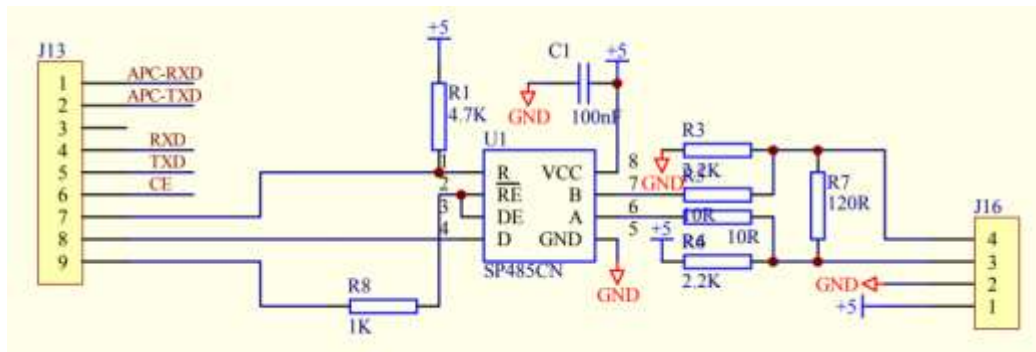


Figura 29. Convertidor SP485CN RS485 a serial

Del otro lado del cable se utilizó otro cable de red de 1.5 mts con conector RJ45 de un extremo para la conexión entre el gabinete y la shield de arduino Xbee V5 con interfaz RS485, donde GND del Sentron PAC 3100 se conectó con GND de la shield, A se conectó con B y B se conectó con A del conector RS485, ver Figura 30. Para activar el modo RS485 se colocaron los tres jumpers en RS485.

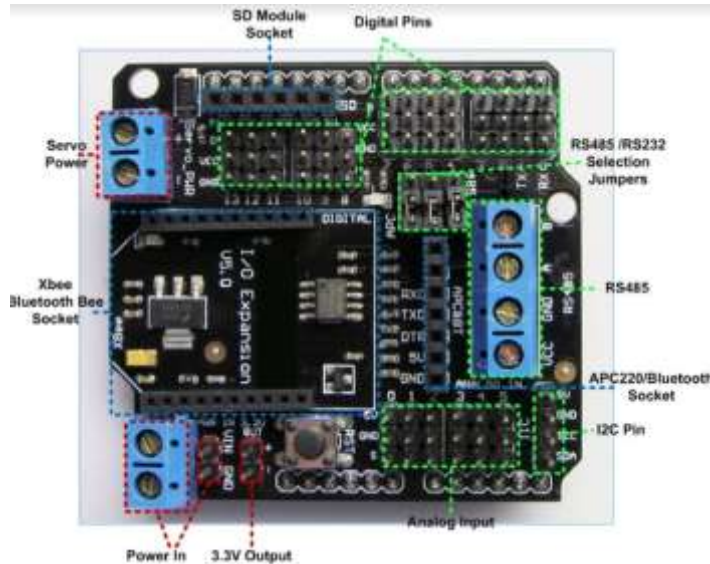


Figura 30. Shield arduino Xbee v5

3.2.2 Lectura de datos del dispositivo Sentron PAC3100 vía RS-485

Para la adquisición de datos del dispositivo es necesario contar con un conversor de USB a Rs-485 (CONV-USB-RS485) o en su defecto con una Shield (IO Expansion/Xbee/Bluetooth/SRS485) para implementarlo en entornos de desarrollo

como lo es Arduino. El conversor USB a RS485 integra un conversor USB a serial TTL (CH340) y un chip serial a RS485 (MAX485). Permitiendo establecer comunicación entre una PC (USB) y un microcontrolador (PAC3100) utilizando la interface RS485, ver Figura 31.



Figura 31. Conversor USB a RS-485

La Shield Arduino IO Expansion/Xbee/Bluetooth/SRS485 es una herramienta multifuncional la cual permite interactuar con otros módulos que se pueden colocar en su estructura, posicionándolo, así como un módulo bastante versátil y con bastante funcionalidad, ver Figura 32.



Figura 32. Shield Arduino para RS-485.

Como parte secundaria se instala un driver el cual permite a la PC reconocer el puerto. Para comenzar con la toma se utiliza el programa (ModbusMAT 1.1) permite acceder al dispositivo de medición mediante la configuración de la trama (telegrama de

función), lo que permite acceder a funciones según la especificación del Modbus. En la Tabla 4 se especifica el esquema de escritura de telegrama emitida.

Tabla 4. Escritura de telegrama emitida

Dirección	Código de función	Datos	CRC
Byte	Byte	n bytes	2 bytes

Los códigos de función controlan el intercambio de datos. Para ello, el código de función le comunica al esclavo qué acción debe ejecutar. En la Tabla 5 se presentan los códigos de función admitidos.

Tabla 5. Códigos de función admitidos

FC	Función según la especificación Modbus	Tipo de datos		Acceso
02	Read Discrete Inputs	Bit	Entrada	R
03	Read Holding Registers	Registro	Salida	R
04	Read Input Registers	Registro	Entrada	R
06	Write Single Register	Registro	Salida	RW
10	Write Multiple Registers	Registro	-	RW
2B	Read Device Identification	-	-	R

Para utilizar la Shield de Arduino es necesario contar con una librería (ModbusMaster) específica que permitan el acceso y toma de datos vía Modbus. La configuración en este punto es sumamente sencilla conforme se observa en la Figura 33. Teniendo lo anterior, al igual que con el conversor USB, se configura la trama y funciones admitidas Modbus para lograr establecer una recepción de datos adecuada.

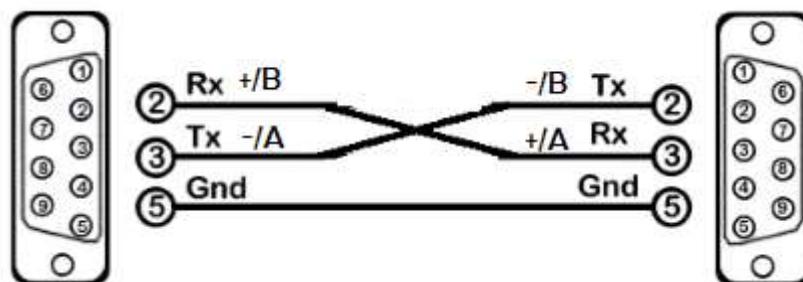


Figura 33. Configuración de conexión RS-485 a Shield Arduino.

3.2.3 Desarrollo STM32 (ATOLLIC) y toma de datos con la placa de desarrollo P-L496G-CELL02 STM32

Al comenzar en el entorno de desarrollo Atollic, se tiene la posibilidad de desarrollar programas en C y C++ para microprocesadores ARM7, ARM9 y ARM Cortex, cumpliendo tanto las funciones de compilación como de depuración sobre una placa de desarrollo. Lo que permite tener un código optimizado a la hora de implementar el dispositivo a gran escala. Atollic TrueSTUDIO presenta ventajas a considerar al contar con una interfaz muy intuitiva, permite la creación de automatizada de plantillas y permite incorporar un gran número de microcontroladores. Atollic TrueSTUDIO está basado en el entorno de desarrollo de software libre Eclipse, y aprovecha el toolchain de GNU, además de compiladores también del proyecto GNU como GCC. Además, incluye un gran número de librerías adaptadas para diversas placas de desarrollo y permite crear plantillas de proyecto para cada una de ellas. En la Figura 34 se presenta un ejemplo del IDE del programa a utilizar.

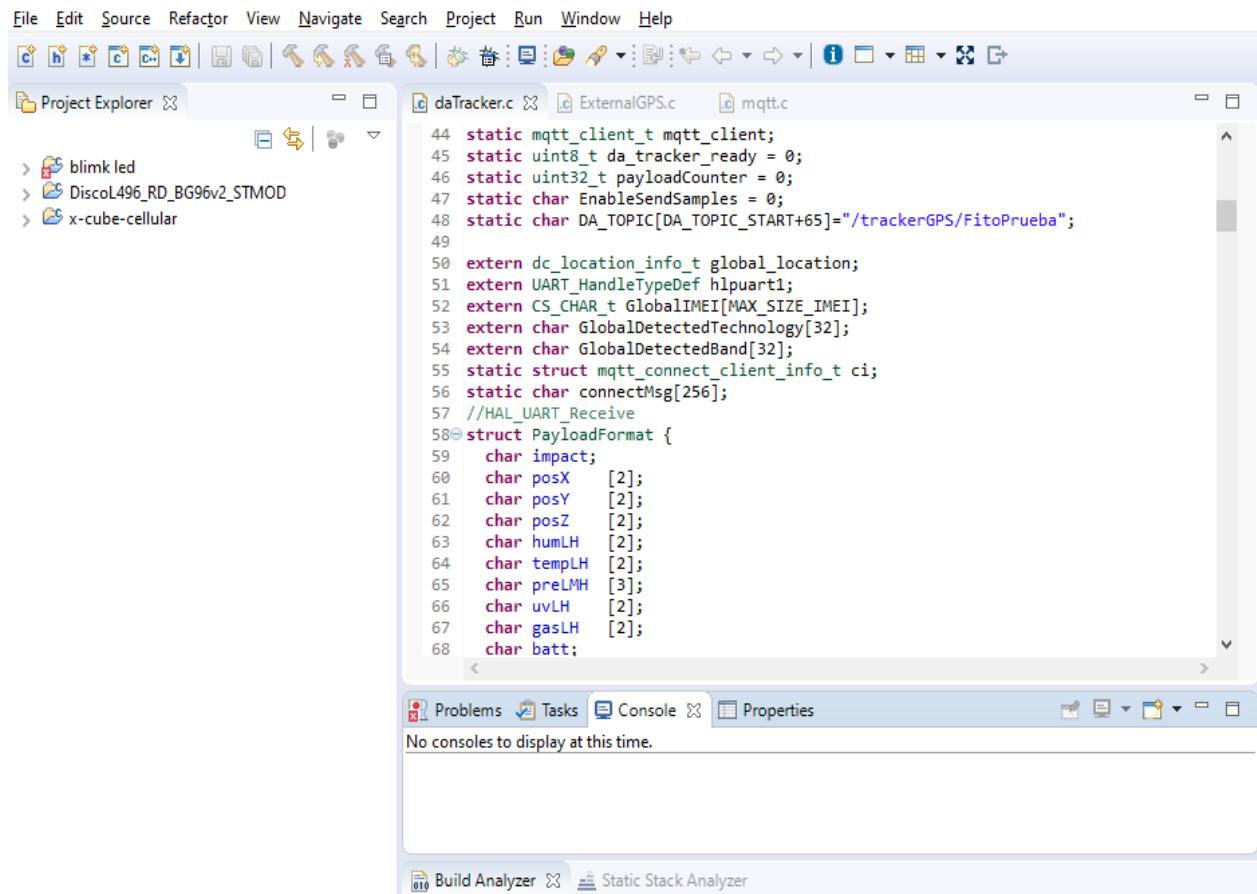


Figura 34. Interfaz del programa a utilizar.

La interfaz es muy limpia, cuenta con botones de compilación y depuración, una zona de gestión de los contenidos del proyecto, una zona de edición de código y otra donde obtenemos información de problemas, búsquedas o las salidas de la consola.

Para visualizar el funcionamiento y envío de datos a la plataforma MoTeBo® se cuenta con un programa serial (Tera Term) el cual permite validar la información que se envía a la nube. En la Figura 35 se muestra la pantalla del programa serial.

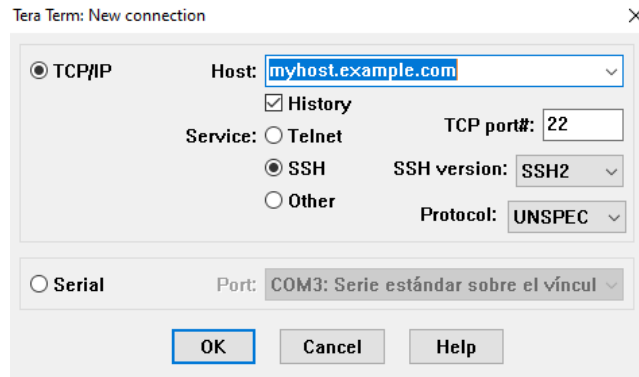


Figura 35. Monitor serial Placa L496G-CELL02 STM32.

3.2.4 Interfaz de comunicación con módulo de comunicación MoTeBo®

A manera de prueba preliminar y adicional al proyecto para validar que la comunicación del dispositivo de medición sea la adecuada se recurre al entorno de programación IDE Atollic TrueSTUDIO con el cual se logra que los datos generados puedan ser enviados mediante la compilación y verificación de los archivos personalizados de MoTeBo para el envío de datos a la nube. Los datos se envían sin realizar algún análisis o procesamiento de los datos obtenidos. En la Figura 36 se observa interfaz de comunicación de los archivos generador para el envío de datos.

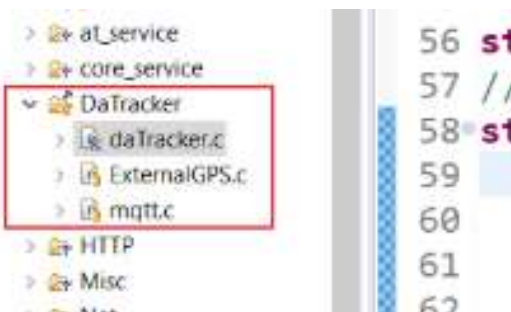


Figura 36. Archivos necesarios para el envío de datos.

Al compilar el proyecto se debe de verificar que la operación realizada y los cambios generados en el mismo sean correctos, de lo contrario se tiene que verificar que los códigos del proyecto estén funcionando correctamente, hasta lograra que se visualice la leyenda “Build Finished” si la compilación fue exitosa, ver Figura 37.

```

Problems Tasks Console Properties Build Analyzer Static Stack Analyzer
CDT Build Console [DiscoL496_RD_BG96v2_STMOD]
Output sent to: DiscoL496_RD_BG96v2_STMOD.list
Generate listing file done
Generate build reports done
Info: Parallel threads used: 7

10:20:37 Build Finished (took 27s.380ms)
  
```

Figura 37. Correcto funcionamiento del proyecto.

3.3 Cronograma de actividades

Actividades	Agosto		Septiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31	1-15	16-30	1-15	16-31
Construcción del sistema integral de medición										
Interfaz de comunicación										
Registro de datos preliminares en módulo										
Asesorías										
Evaluación y seguimiento de asesorías										
Evaluación de reporte										
Informe semestral										
Elaboración reporte técnico (productos entregables)										

IV. RESULTADOS

4.1 Construcción del sistema de monitoreo integral de medición de energía eléctrica.

4.1.1 Diseño del gabinete

En la Figura 38 se muestra el diseño desarrollado en SolidWorks. El cual consta de 4 partes para facilitar el doblado de las piezas en la prensa. La base tiene cuatro barrenos de 1/4" para la fijación del gabinete en la pared también se colocó un barrenado de 3/4" en cada uno de los laterales para agregar los coplees y mangueras metálicas de entrada y salida de cables. La puerta cuenta con un corte de forma cuadrada de 92mm x 92mm para la fijación del Sentron PAC 3100. Los laterales cuentan con una pestaña de 28 mm para su ensamble con la base del gabinete, en el diseño se agregaron marcas de referencia a cada lateral para facilitar el proceso de doblado. Las dimensiones del gabinete armado son de 280mm de alto x 240mm de ancho x 128mm de largo.

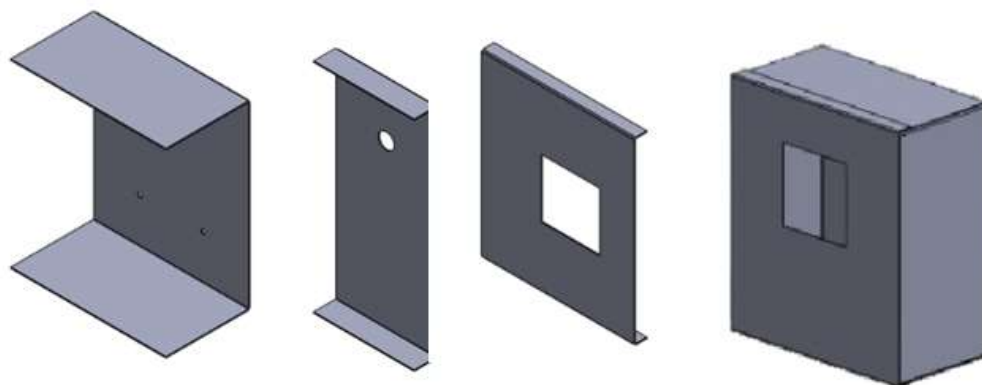


Figura 38. Gabinete SolidWorks.

4.1.2 Manufactura del gabinete

En la Figura 39 se puede apreciar las piezas de lámina de acero de 1.5 mm cortadas por la plasma. El excedente de material fue removido con pulidora.



Figura 39. *Partes que conforman el gabinete.*

Haciendo uso de la prensa hidráulica se realizaron los dobleces indicados en los planos para cada pieza. Usando las marcas de referencia se pudo efectuar cada dobles con mejor precisión logrando así una mejor cuadratura en el gabinete. En la Figura 40 se muestra el proceso de doblado.



Figura 40. *Partes de gabinete dobladas en la prensa.*

En la Figura 41 se muestra el proceso de remachado para la unión de los laterales con el cuerpo del gabinete. Los remaches utilizados fueron de 7/32" y fueron colocados con una remachadora manual.



Figura 41. Remachado del gabinete.

En la Figura 42 se muestra los laterales ya ensamblados con la base formando el volumen que ocupa el gabinete.



Figura 42. Caja remachada.

Para sellar el gabinete se agregaron unos cordones de soldadura en las uniones entre base y laterales como se muestra en la siguiente Figura 43.



Figura 43. *Proceso de soldadura.*

En la Figura 44 se muestra el gabinete ya ensamblado con la puerta utilizando bisagras de 2.5 cm x 4.5 cm. El Sentron PAC 3100 cave perfectamente en el cuadro.



Figura 44. *Ensamble del gabinete final.*

En la Figura 45 se presenta el gabinete con un acabado final en gris metálico.



Figura 45. Gabinete con pintura anti eléctrica aplicada.

4.1.3 Instalación del gabinete

En la Figura 46 se muestra como fue el empotramiento del gabinete a la pared, a un lado del registro principal de control de las maquinas del laboratorio de manufactura y debajo de la canaleta principal con el fin de obtener cerca los cables alimentación del torno. Las perforaciones en la pared y los taquetes son de 1/4" y se aseguró la nivelación del gabinete.



Figura 46. Empotramiento del gabinete.

En la Figura 47 se puede observar cómo se colocaron en la canaleta y en el gabinete algunos coplees para colocar manguera metálica con el fin de evitar rasgaduras y cortes en los cables antes y después de salir del gabinete.

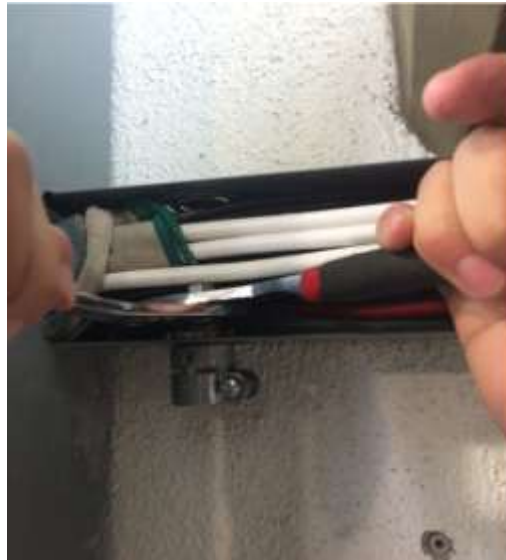


Figura 47. Instalación de coplees.

La cerradura fue comprada en internet y fue ensamblada hasta que llegó, después de que el gabinete fuera instalado, por lo que se removieron los remaches de las bisagras para poder realizar el barreno y colocarla, ver Figura 48.



Figura 48. Adaptación de cerradura.

4.1.4 Porta transformadores y sujeción del Sentron PAC 3100

En la Figura 49 se puede apreciar las piezas ya impresas y ensambladas en el gabinete, así como los diseños desarrollados en SolidWorks.



Figura 49. Porta transformadores y mecanismo de sujeción.

4.1.5 Conexión

Para poder introducir las líneas en los transformadores de corriente fue necesario liberar los cables del torno de sus conexiones anteriores. En la Figura 50 se muestran los transformadores ya instalados en el porta transformadores, también se puede observar como fue el ruteo de cables para introducir las líneas de tensión dentro de estos.



Figura 50. Ruteo para la entrada y salida de cables en el gabinete.

El cableado se realizó siguiendo las especificaciones del tipo de cable mencionadas anteriormente. Se utilizó una conexión en estrella para poder medir más magnitudes físicas con el Sentron PAC 3100 utilizando las corrientes de entrada y de salida proporcionadas por el transformador de corriente. En la Figura 51 se muestra el bloque de terminales con las líneas de tensión, neutro y tierra. En la conexión de cada fase de la terminal al Sentron PAC 3100 se encuentra el fusible de protección de 1A y para la tierra se utilizó un color verde. Como se puede ver en la Figura 52 se ve como quedó la conexión a los bornes del Sentron PAC 3100 utilizándose un color café para las corrientes de entrada y uno blanco para las corrientes de salida, en el otro borne de tensión todos los cables son de color café y en la alimentación se tiene uno blanco para el neutro y uno café para la corriente.

En la Figura 53 se presenta el equipo en su instalación final.



Figura 51. *Bloque de terminales.*



Figura 52. *Conexiones del Sentron PAC 3100.*



Figura 53. Sistema de monitoreo instalado.

4.2 Interfaz de comunicación

4.2.1 Cableado conexión Modbus RTU vía interfaz RS-485 del Sentron PAC 3100.

Se realizó un corte cuadrado de 2cm x 3cm para colocar un conector hembra-hembra RJ45 con la finalidad de no abrir el gabinete a la hora de usar el bus RS485, en la Figura 54 se puede ver parte de este proceso.

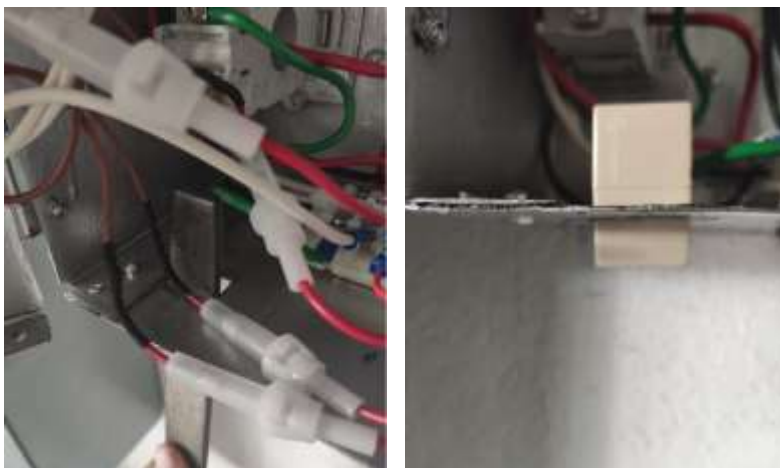


Figura 54. Conector RJ45

Ya instalado el coplee se conectó el bus RS485 del Sentron PAC 3100 al coplee y del coplee al conector RS485 de la shield Xbee V5, ver Figura 55.

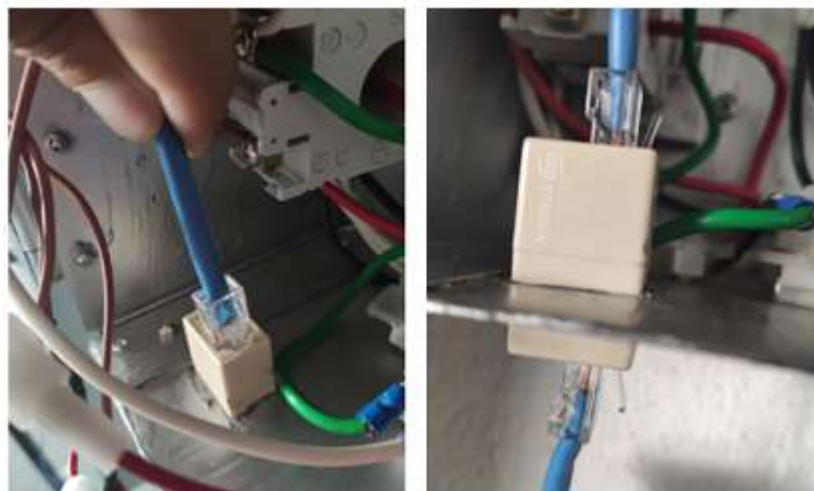


Figura 55. Conexión de interfaz RS485 usando el coplee RJ45

En la Figura 56 se muestra la conexión RS485 de la Xbee V5 con la placa de desarrollo STM32 Discovery.

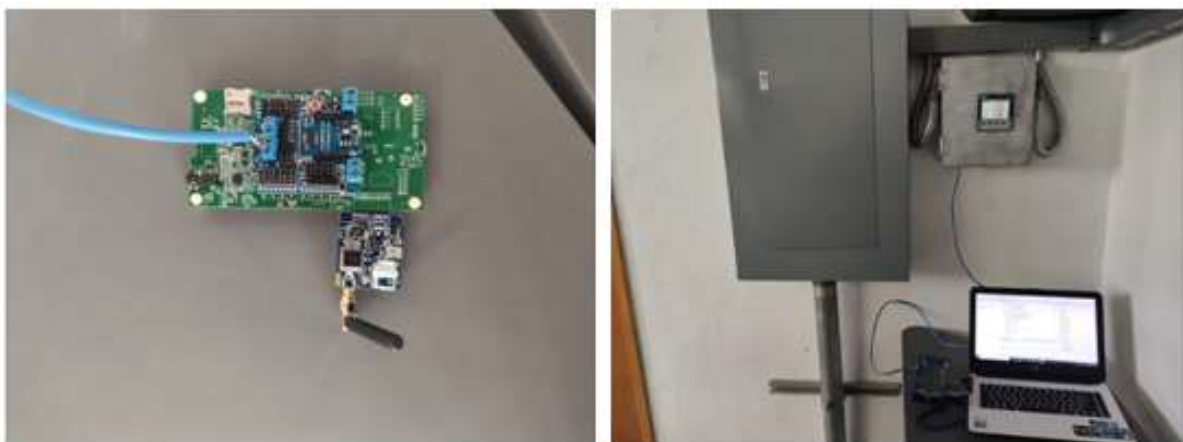


Figura 56. Conexión RS485 con placa de desarrollo

En la Figura 57 se presenta la conexión completa del Sentron PAC 3100 con la interfaz de comunicación.

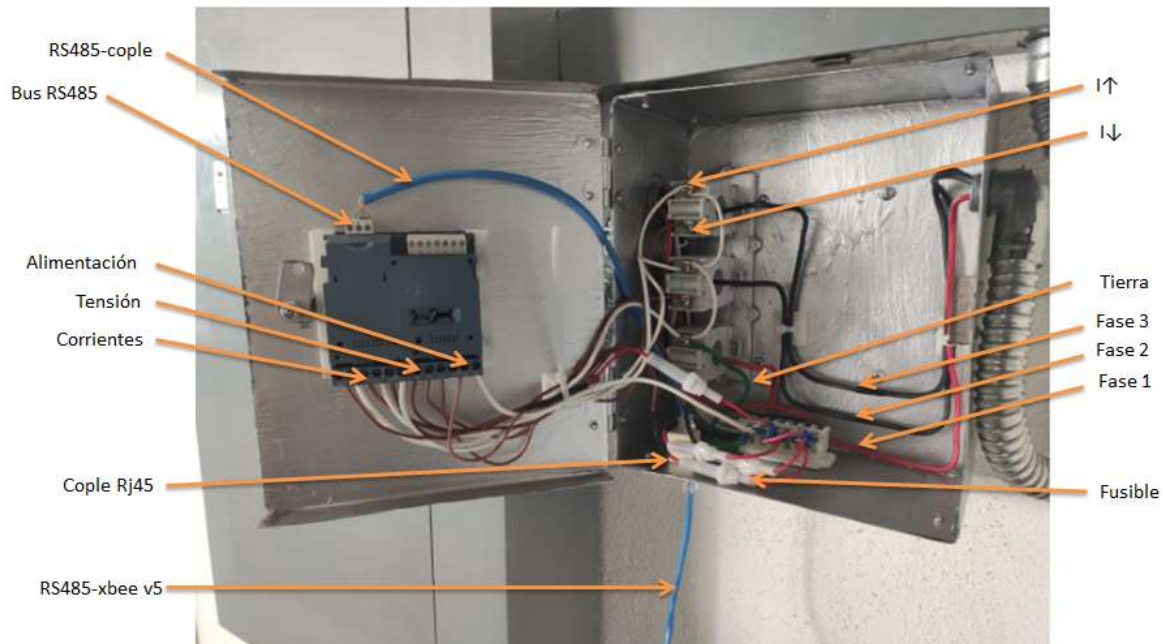


Figura 57. Conexiones dentro del gabinete.

4.2.2 Lectura de datos del dispositivo Sentron PAC3100 vía RS-485.

Como primera configuración esta conectar el convertidor RS-485 a USB con el cual se descargar el Driver CH430G para poder habilitar la lectura del puerto serial del dispositivo. Para la configuración de la conexión para la interfaz y solo considerando los bornes A y B, ya que el dispositivo conversor no necesita del común o tierra de la interfaz, ver Figura 58.



Figura 58. Conexión de la interfaz vía RS-485.

El programa para interpretar los datos por el puerto COM es ModbusMAT1.1 en el cual se configuran los siguientes parámetros, ver Figura 59.

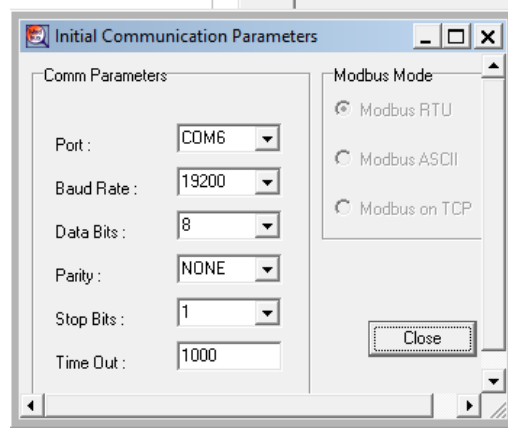


Figura 59. Configuración de lectura vía RS-485.

Y para finalizar la configuración solo resta poner el número de ID y la función que se desea ejecutar, ver Figura 60.

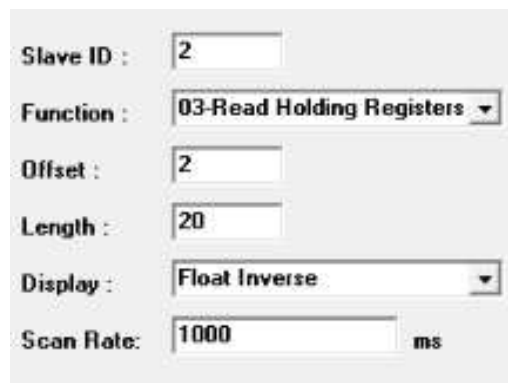


Figura 60. Dirección ID y función que se desea ejecutar.

Teniendo como resultados los valores de tensión y corriente de cada una de las 3 líneas empezando en la dirección 40008 (tensión línea 1) y finalizando en 40018 (corriente línea 3), ver Figura 61.

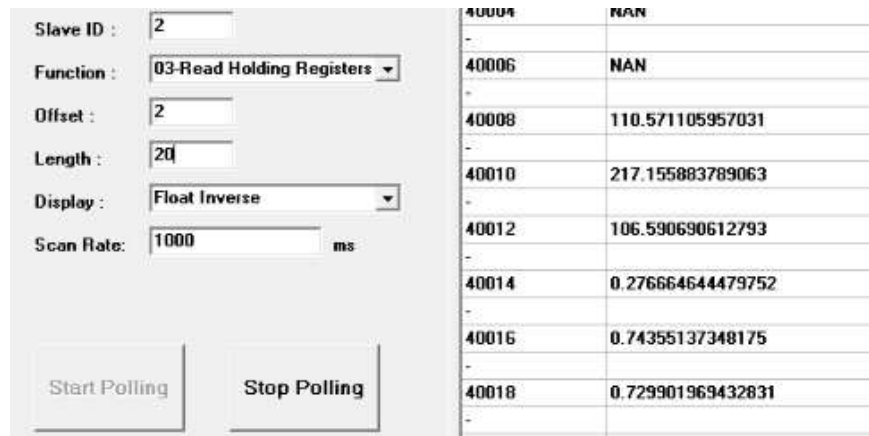


Figura 61. Resultados de lectura Vía RS-485.

Como segunda configuración esta utilizar la Shield Arduino Xbee V5 en la cual la conexión es idéntica a la señalada anteriormente, ver Figura 62.

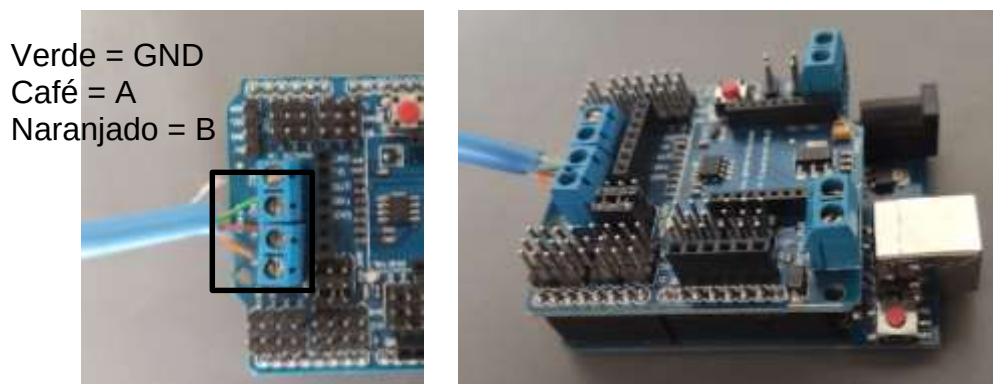


Figura 62. Conexión RS-485 utilizando la Shield Xbee V5.

En el Anexo 2 se presenta el código de comunicación utilizado para lograr la comunicación maestro (Arduino) y esclavo (Sentron PAC 3100). Igualmente se observan las librerías utilizadas y las partes que se configuran para lograr la comunicación y obtener lecturas de la interfaz Rs-485. Para cargar el programa a la placa Arduino basta con solo seleccionar el puerto COM detectado (COM3) y se procede a cargarlo para finalmente abrir el monitor serial de Arduino y poder visualizar los datos generados con la Shield Arduino Xbee V5, ver Figura 63. Los datos son “0” ya que se está midiendo la corriente y la maquina (Fresadora) se encuentra apagada.

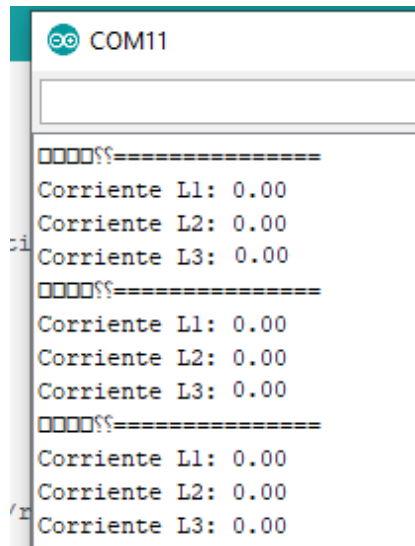


Figura 63. Datos obtenidos con el monitor serial de Arduino con maquina apagada.

Al encender la maquina se aprecia el cambio de lectura de datos del sistema de monitoreo, ver Figura 64.

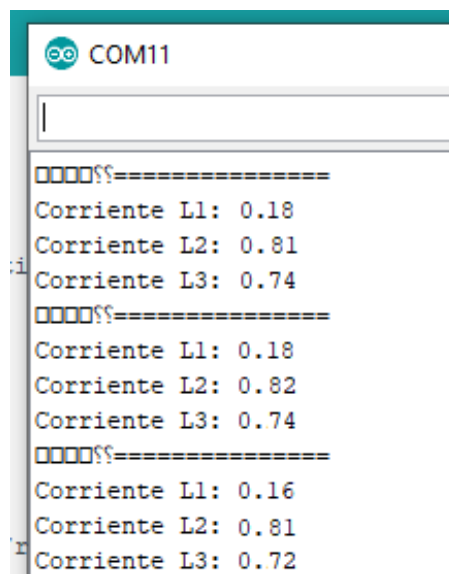


Figura 64. Lectura de corrientes cuando la maquina está encendida.

Los códigos de función (Offset) para poder leer los datos de registro son los siguientes, ver Figura 65. Para que Arduino los pueda interpretar es necesario convertirlos a base 16 (Hexadecimal).

Offset	Número de registros	Nombre	Formato	Unidad	Rango admitido	Acceso
1	2	Tensión L1-N	Float	V	-	R
3	2	Tensión L2-N	Float	V	-	R
5	2	Tensión L3-N	Float	V	-	R
7	2	Tensión L1-L2	Float	V	-	R
9	2	Tensión L2-L3	Float	V	-	R
11	2	Tensión L3-L1	Float	V	-	R
13	2	Corriente L1	Float	A	-	R
15	2	Corriente L2	Float	A	-	R
17	2	Corriente L3	Float	A	-	R
19	2	Potencia aparente L1	Float	VA	-	R
21	2	Potencia aparente L2	Float	VA	-	R
23	2	Potencia aparente L3	Float	VA	-	R
25	2	Potencia activa L1	Float	W	-	R
27	2	Potencia activa L2	Float	W	-	R
29	2	Potencia activa L3	Float	W	-	R
31	2	Potencia reactiva L1 (Q1)	Float	var	-	R
33	2	Potencia reactiva L2 (Q1)	Float	var	-	R
35	2	Potencia reactiva L3 (Q1)	Float	var	-	R
37	2	Corriente por neutro	Float	A	-	R
39	2	Frecuencia	Float	Hz	45 ... 65	R
47	2	Potencia aparente total	Float	VA	-	R
49	2	Potencia activa total	Float	W	-	R
51	2	Potencia reactiva total (Q1)	Float	var	-	R
53	2	Factor de potencia total	Float		-	R

Figura 65. Códigos de función para acceder a los registros.

4.3 Registro preliminar de datos empleando el módulo de comunicación MoTeBo®

Al realizar este apartado es necesario configurar la placa de desarrollo adecuada en el software STM32 CUBE, lo que nos permitirá configurar los pines necesarios para establecer la comunicación via RS-485, ver Figura 66.

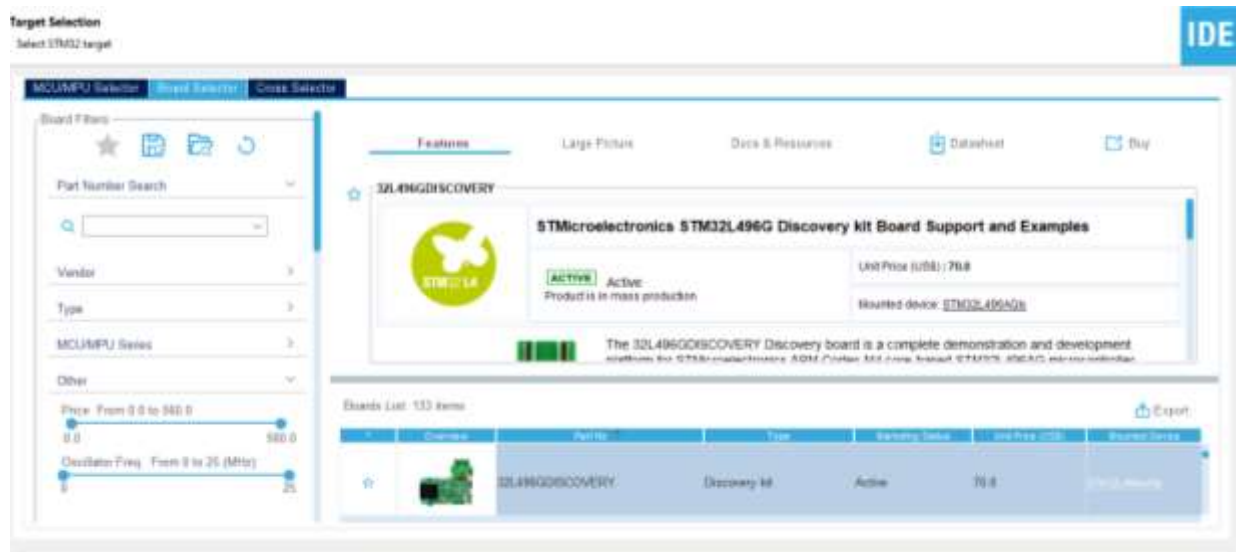


Figura 66. Selección de placa de desarrollo adecuada.

En este caso es la placa es la STM32L496G Discovery cuenta con pines hembra de conexión en los cuales podemos conectar la Shield Arduino Xbee V5, ver Figura 67.



Figura 67. Conexión de la Shield a la placa de desarrollo L496G.

Una vez identificada la placa adecuada en el software se da en siguiente y se muestra el are de trabajo en donde aparecerá la placa configurada, mostrando todos los pines habilitados y configurados en modo de fábrica, ver Figura 68.



Figura 68. Área de configuración del microprocesador de la placa de desarrollo L496G.

Como solo se requieren los pines para la recepción y transmisión de la interfaz RS-485, se borran todos los pines de la placa, esto porque se desea mantener la configuración inicial del proyecto MoTeBo, ver Figura 69.

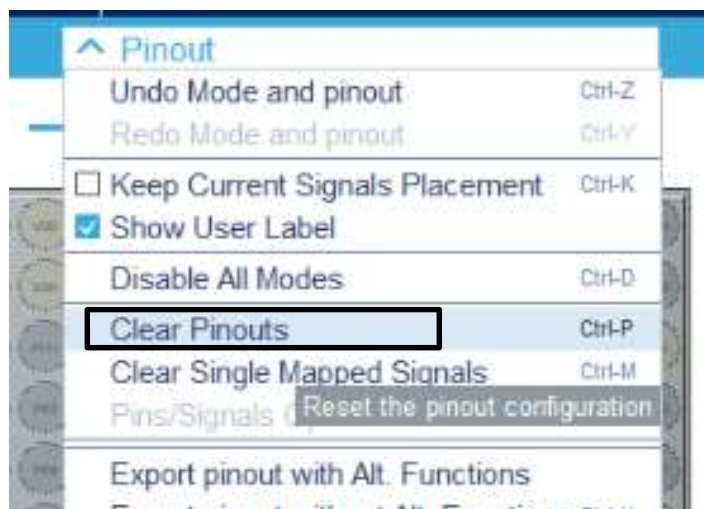


Figura 69. Limpieza de los pines configurados.

Teniendo los pines borrados se procede a configurar únicamente los pines 0,1 y 3, correspondiendo a TX, RX y Activar transmisión de datos, respectivamente, ver Figura 70.

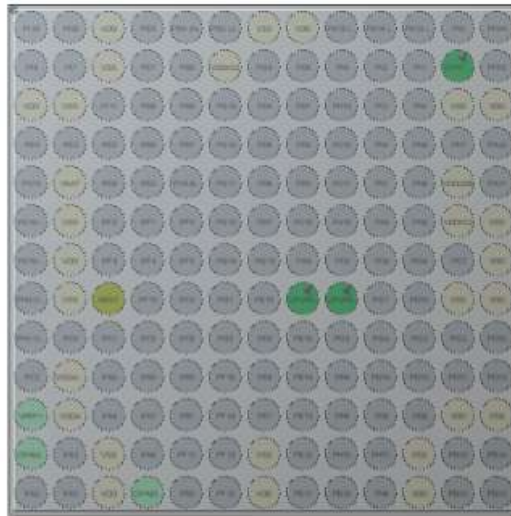


Figura 70. Configuración de pines necesarios para interfaz RS-485.

Después pulsando la herramienta de generación de código obtenemos las líneas necesarias para después pasar al entorno de desarrollo Atollic, ver Figura 71.

```

171 static void MX_LPUART1_UART_Init(void)
172 {
173     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 0 */
174     /* USER CODE END LPUART1_Init 0 */
175     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 1 */
176     /* USER CODE END LPUART1_Init 1 */
177     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 2 */
178     /* USER CODE END LPUART1_Init 2 */
179     hlpuart1.Instance = LPUART1;
180     hlpuart1.Init.BaudRate = 19200;
181     hlpuart1.Init.WordLength = UART_WORDLENGTH_8B;
182     hlpuart1.Init.StopBits = UART_STOPBITS_1;
183     hlpuart1.Init.Parity = UART_PARITY_NONE;
184     hlpuart1.Init.Mode = UART_MODE_TX_RX;
185     hlpuart1.Init.HwFlowCtl = UART_HWCONTROL_NONE;
186     hlpuart1.Init.OneBitSampling = UART_ONE_BIT_SAMPLE_DISABLE;
187     hlpuart1.AdvancedInit.AdvFeatureInit = UART_ADVFEATURE_NO_INIT;
188     if (HAL_UART_Init(&hlpuart1) != HAL_OK)
189     {
190         Error_Handler();
191     }
192     /* USER CODE BEGIN LPUART1_Init 3 */
193     /* USER CODE END LPUART1_Init 3 */
194 }
195
205 static void MX_GPIO_Init(void)
206 {
207     GPIO_InitTypeDef GPIO_InitStruct = {0};
208     /* GPIO Ports Clock Enable */
209     __HAL_RCC_GPIOH_CLK_ENABLE();
210     __HAL_RCC_GPIOG_CLK_ENABLE();
211     HAL_PWREx_EnableVddIO2();
212     /*Configure GPIO pin Output Level */
213     HAL_GPIO_WritePin(GPIOH, GPIO_PIN_15, GPIO_PIN_RESET);
214     /*Configure GPIO pin : PH15 */
215     GPIO_InitStruct.Pin = GPIO_PIN_15;
216     GPIO_InitStruct.Mode = GPIO_MODE_OUTPUT_PP;
217     GPIO_InitStruct.Pull = GPIO_NOPULL;
218     GPIO_InitStruct.Speed = GPIO_SPEED_FREQ_LOW;
219     HAL_GPIO_Init(GPIOH, &GPIO_InitStruct);
220 }
221

```

Figura 71. Configuración necesaria para entorno Atollic.

De igual manera también se incluyen las librerías para lograr la comunicación RTU Modbus Master las cuales son las siguientes, ver Figura 72.

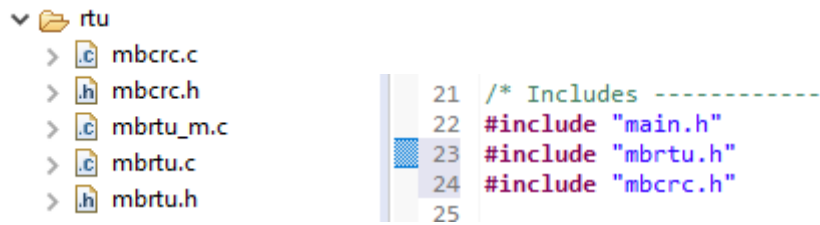


Figura 72. Carpeta y declaración de librerías necesarias.

En el entorno de Atollic quedaría algo como lo siguiente, con los pines de comunicación vía interfaz RS-485 y funcionalidades específicas del programa proporcionado por la empresa MoTeBo, ver Figura 73.

```

140 void poorReceiver(char *buffer, int len) {
141
142     memset(buffer, 0, len);
143     unsigned int cbyte, cbit;
144     HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
145     dummyWait();
146     for (cbyte = 0; cbyte != len; cbyte++) {
147         for (cbit = 0; cbit != 8; cbit++) {
148             //receive on falling
149             HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_RESET);
150             dummyWait();
151             buffer[cbyte] |= (HAL_GPIO_ReadPin(GPIOB, GPIO_PIN_7) << cbit);
152             //avoid re-entry into ready mode
153             if ((cbyte + 1) == len && (cbit + 1 == 8))
154                 return;
155             HAL_GPIO_WritePin(GPIOB, GPIO_PIN_8, GPIO_PIN_SET);
156             dummyWait();
157         }
158     }
159 }

```

Figura 73. Inclusión de códigos generados para la comunicación RS-485.

V. CONCLUSIONES

Se logró construir el sistema de monitoreo de consumo eléctrico usando un Sentron PAC 3100 para la medición de la potencia aparente de un torno CNC empleando de interfaz una placa de desarrollo STM32 Discovery con funcionalidad IoT para el registro de los datos. Estos dos dispositivos fueron comunicados con éxito a través de una interfaz RS485, para lo cual se utilizó el protocolo Modbus RTU para envío y recepción de información. Para la programación de estos algoritmos se usó Atollic TrueSTUDIO.

Se utilizó equipo especializado para la manufactura del gabinete, así como la impresión 3d de piezas necesarias para el ensamble. Para la obtención de la base de datos para el análisis experimental se utilizó Arduino para el análisis de los valores que afectan el consumo energético durante la mecanización del torno CNC DMTG.

De manera adicional, los registros de medición obtenidos por la placa de desarrollo se utilizaron con algoritmos desarrollados por la empresa para hacer la subida de los datos a la nube y ser monitoreadas en su plataforma digital. Durante este proceso el equipo de MoTeBo en Tijuana recibió los datos de la placa.

Como trabajo a futuro se pretende la aplicación del sistema desarrollado bajo diseños experimentales, así como extrapolar el proyecto a demás equipos especializados de manufactura operados simultáneamente.

VI. COMPETENCIAS DESARROLLADAS Y/O APLICADAS

1. Implementé métodos innovadores de solución de problemas, los cuales pueden ser replicados a escala industrial.
2. Gestioné la generación del conocimiento específico para evidenciar la capacidad de acción de la Mecatrónica, ejerciendo un liderazgo estratégico y un compromiso ético.
3. Coadyuve a cumplir los retos de la empresa en torno a proyectos de tecnología patentable.
4. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas presentados durante la fase de construcción del proyecto.
5. Diseñé e innové estructuras de procesos, con base en las necesidades de la empresa para incrementar sus niveles de productividad.
6. Aplique métodos cuantitativos y cualitativos en el análisis e interpretación de datos y modelado de sistemas en los procesos de la organización, para la mejora continua atendiendo estándares de calidad.
7. Implementé planes y programas de seguridad industrial para el fortalecimiento del entorno del proceso.
8. Utilice las nuevas tecnologías de información y comunicación de la empresa, para optimizar los procesos y la eficaz toma de decisiones.
9. Aplique métodos de investigación para desarrollar e innovar modelos, sistemas, procesos y productos en las diferentes dimensiones de la organización.
10. Aplique métodos, técnicas y herramientas para la solución de problemas en la industria con una visión estratégica.

VII. FUENTES DE INFORMACIÓN

- (1) SENER. (2012). Prospectivas del sector eléctrico 2012-2026. 15 Noviembre 2019, de Gobierno Federal recuperado de:
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/62958/Prospectiva_del_Sector_Elctrico_2012-2026.pdf
- (2) Energía para la industria. [Uso de la energía: La industria]. Recuperado de
http://www.larutadelaenergia.org/usos/v8_b1.asp?v=7&b=0
- (3) Programa de desarrollo del Sistema Eléctrico Nacional. (2016/2030). [PRODESEN]. Recuperado de
https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/98308/PRODESEN-2016-2030_1.pdf
- (4) INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. World Energy Balances, OECD and OECD data bases. 2008 Edition. International Energy Agency, 2008. Disponible en World Wide Web: www.iea.org
- (5) Comisión Federal de Electricidad. [La Comisión Federal de Electricidad, Empresa Productiva del Estado]. Recuperado de
<https://www.cfe.mx/acercacfe/Quienes%20somos/Pages/conceptocfe.aspx>
- (6) Análisis de la Demanda Regional y el Cambio Estructural en el Sector Eléctrico Mexicano. Autor: Alejandro Díaz Bautista.
- (7) Annual Energy Review, 2004. Energy Information Administration. Recuperado de
<https://nrgy.mx/analisis-del-historial-de-precios-de-energia-en-mexico-para-la-tarifa-industrial/>
- (8) Comisión Federal de Electricidad. [Tarifa DIT, Demanda industrial en transmisión]. Recuperado de
<https://app.cfe.mx/Aplicaciones/CCFE/Tarifas/TarifasCREIndustria/Tarifas/DemandaIndustrialTran.aspx>
- (9) Técnica Salgar. [FACTOR DE POTENCIA]. Recuperado de
<https://salgar.com/factor-de-potencia/>
- (10) Tecnología. [Factor de potencia]. Recuperado de
<https://www.areatecnologia.com/electricidad/factor-de-potencia.html>

- (11) Corriente eléctrica y resistencia. [Energía Eléctrica y Energía]. Recuperado de <https://courses.lumenlearning.com/boundless-physics/chapter/electric-power-and-energy/>
- (12) Desarrollos eléctricos. (2015-2019). [INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES]. Recuperado de <https://www.matyse.es/instalaciones-electricas-industriales/>
- (13) INSTALACIONES ELÉCTRICAS INDUSTRIALES. (2019). [Instalaciones eléctricas industriales realizadas con estricto apego a la norma NOM-SEDE-001 2012 en media y baja tensión]. Recuperado de <http://francor.com.mx/instalaciones-electricas-industriales/>
- (14) Instalaciones eléctricas en media y baja tensión. [Instalaciones eléctricas industriales]. Recuperado de <https://geclan.com.mx/servicios/instalaciones-electricas-industriales/>
- (15) El blog sobre instalaciones eléctricas. [Instalaciones Eléctricas Industriales: Toda la información]. Recuperado de <https://inst-morenoygonzalez.com/noticias/instalaciones-electricas-industriales/>
- (16) Basic monitoring of electrical power systems. (2011). [SETRON PAC3100]. Recuperado de https://www.downloads.siemens.com/download-center/Download.aspx?pos=download&fct=getasset&id1=BTLV_38468
- (17) Certificación LEED. [Leadership in Energy and Environmental Desing]. Recuperado de <https://bioconstruccion.com.mx/certificacion-leed/>
- (18) Siemens Sentron. [Manual de producto]. Recuperado de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/976/37881976/att_834832/v1/sentron_pac3100_manual_es_03_es-MX.pdf
- (19) Andrea Bautista. (2018). Torno CNC. 18 Noviembre 2019, de TECMA Recuperado de <https://tecma.org.mx/torno-cnc/>
- (20) GEMAK. (2017). Torno CNC. 18 Noviembre 2019, de GEMAK Recuperado de <https://maquinadocnc.com.mx/torno-cnc/>
- (21) STMicroelectronics. (2018). STM32 Discovery pack for LTE IoT cellular to cloud. 19 Nnoviembre 2019, de STMicroelectronics Recuperado de https://www.st.com/content/ccc/resource/technical/document/data_brief/group1/1

4/1f/e0/9c/09/47/4c/3f/DM00479548/files/DM00479548.pdf/jcr:content/translations/en.DM00479548.pdf Geneva. (2018). STM32 Cellular-to-Cloud Discovery Packs from STMicroelectronics Reach Distributors, Bringing Easy, Out-of-the-Box IoT Connectivity. 19 Noviembre 2019, de ST life.augmented Recuperado de https://www.st.com/content/st_com/en/about/media-center/press-item.html/n4060.html

- (22) MoTeBo. (2018). Plataforma MoTeBo . 19 Noviembre 2019, de MoTeBo Textile Tech Recuperado de <https://www.motebo.co/>
- (23) Mario. (2019). RS485: Domótica al alcance de tu mano. 19 Noviembre 2019, de NEOTEO Recuperado de <https://www.neoteo.com/rs485-domotica-al-alcance-de-tu-mano-15810/>

ANEXO 1

Planos con medidas y dimensiones de diseño del gabinete eléctrico, soporte de transformadores y soporte del Sentron PAC3100.

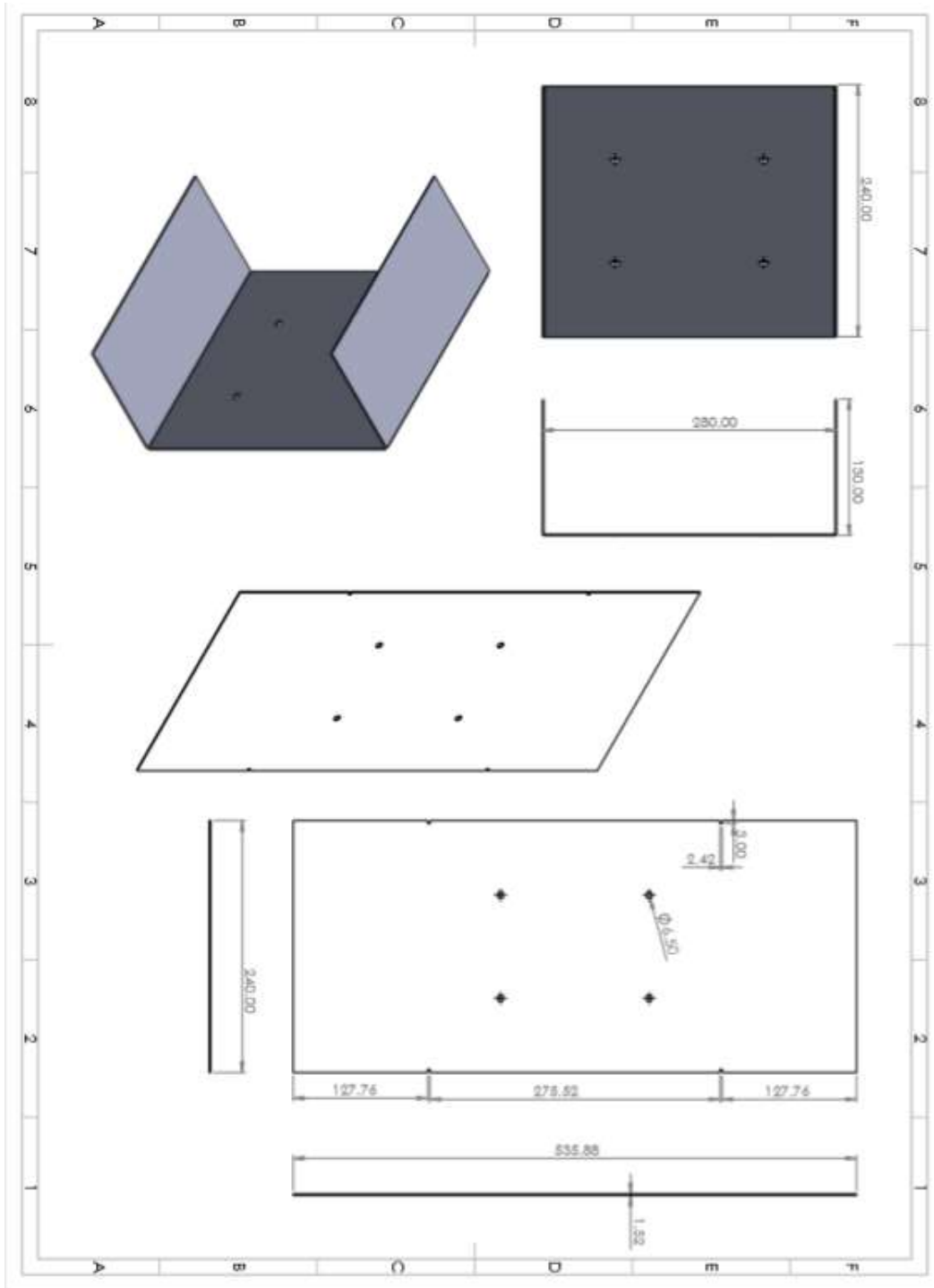


Figura 74. Planos de la base del gabinete.

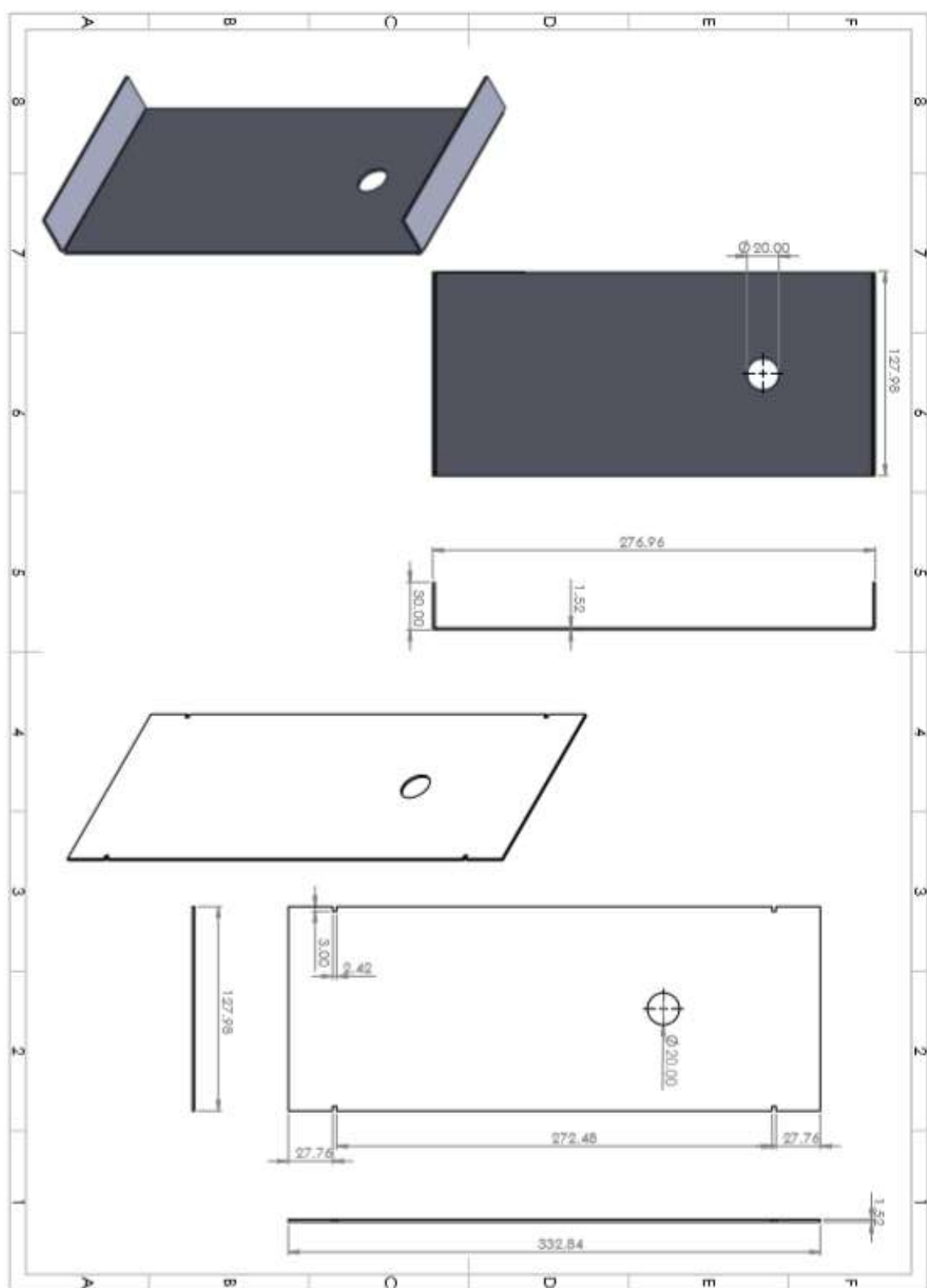


Figura 75. Plano del lateral del gabinete.

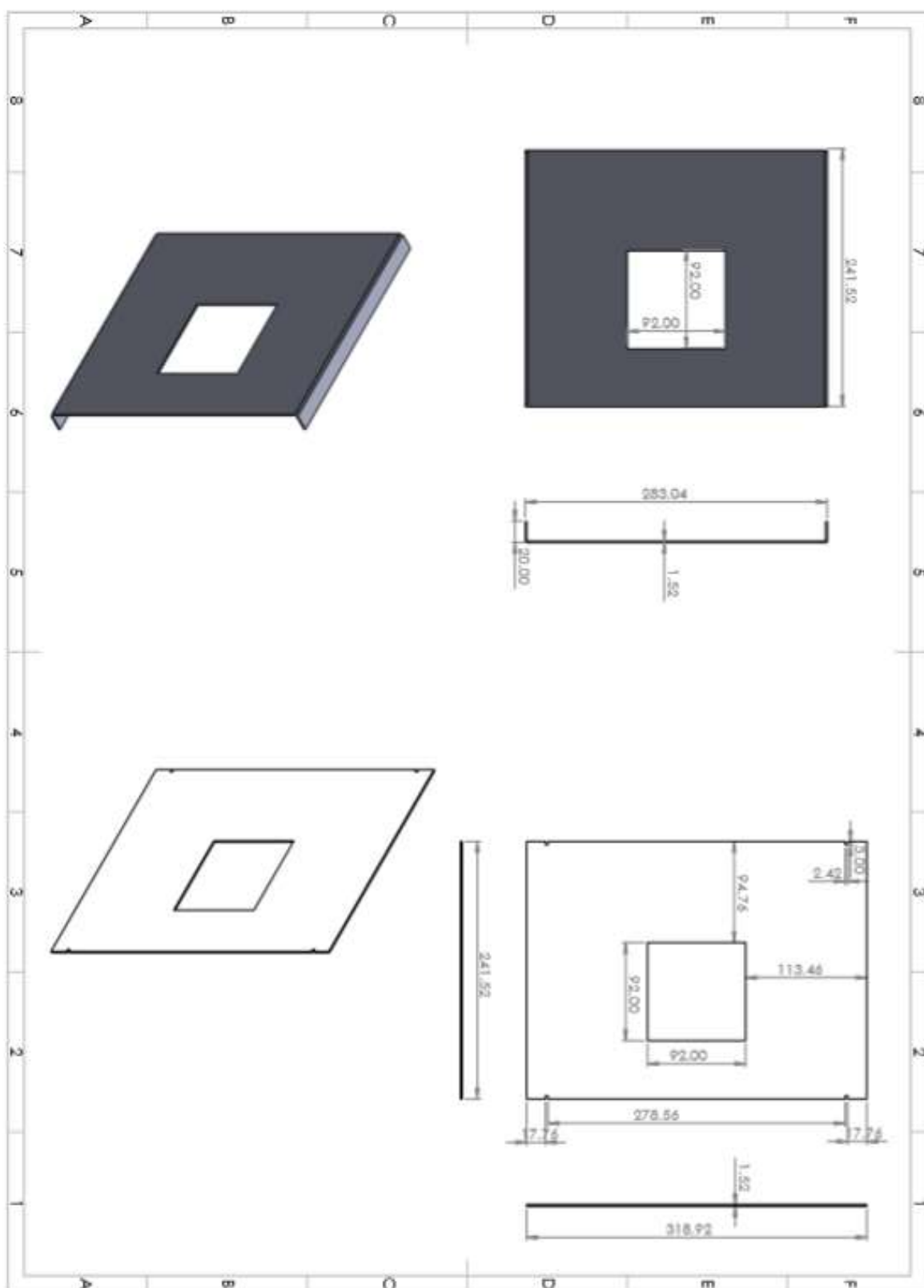


Figura 76. Plano de la puerta del gabinete.

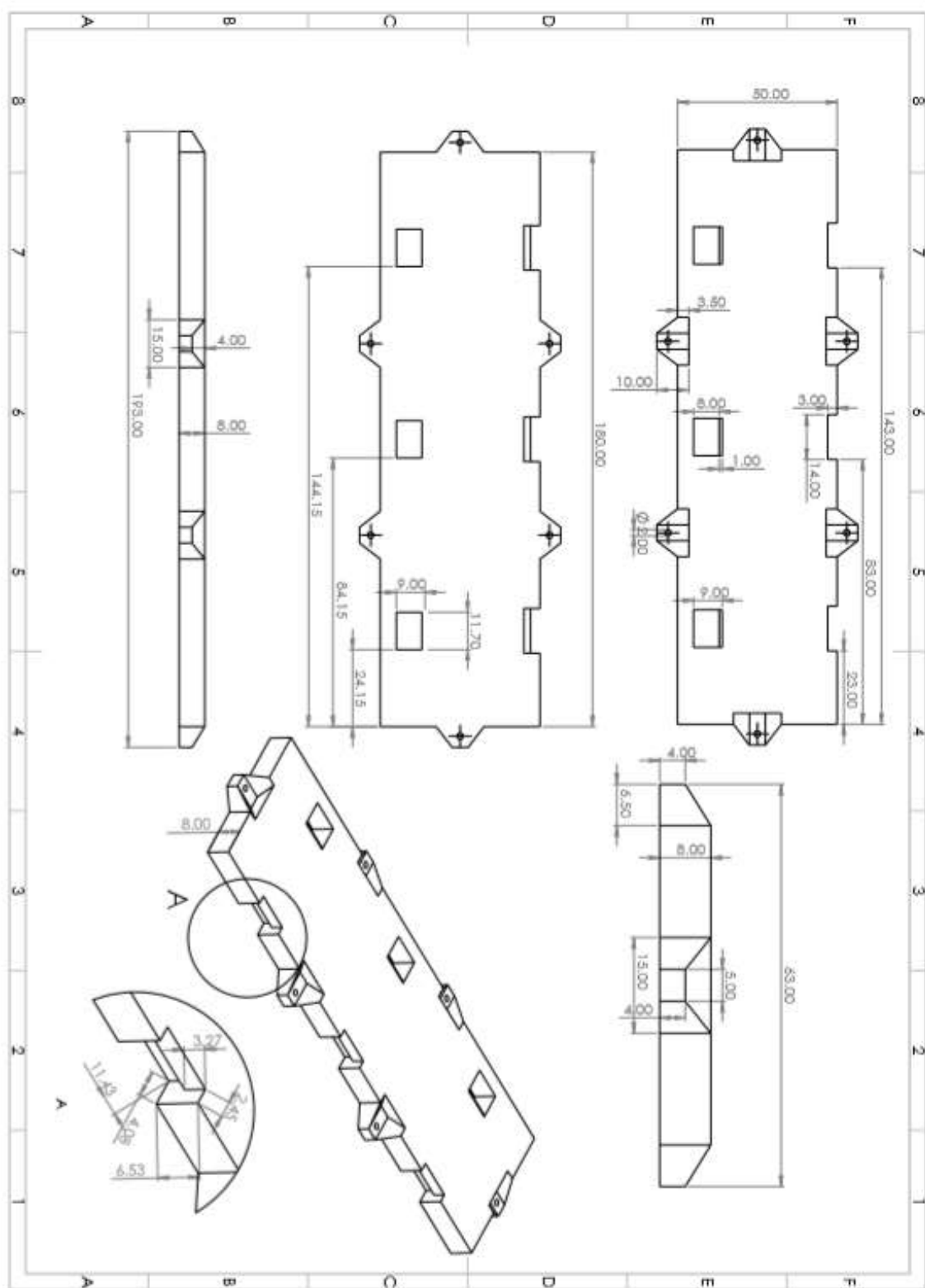


Figura 77. Planos del porta transformadores de corriente.

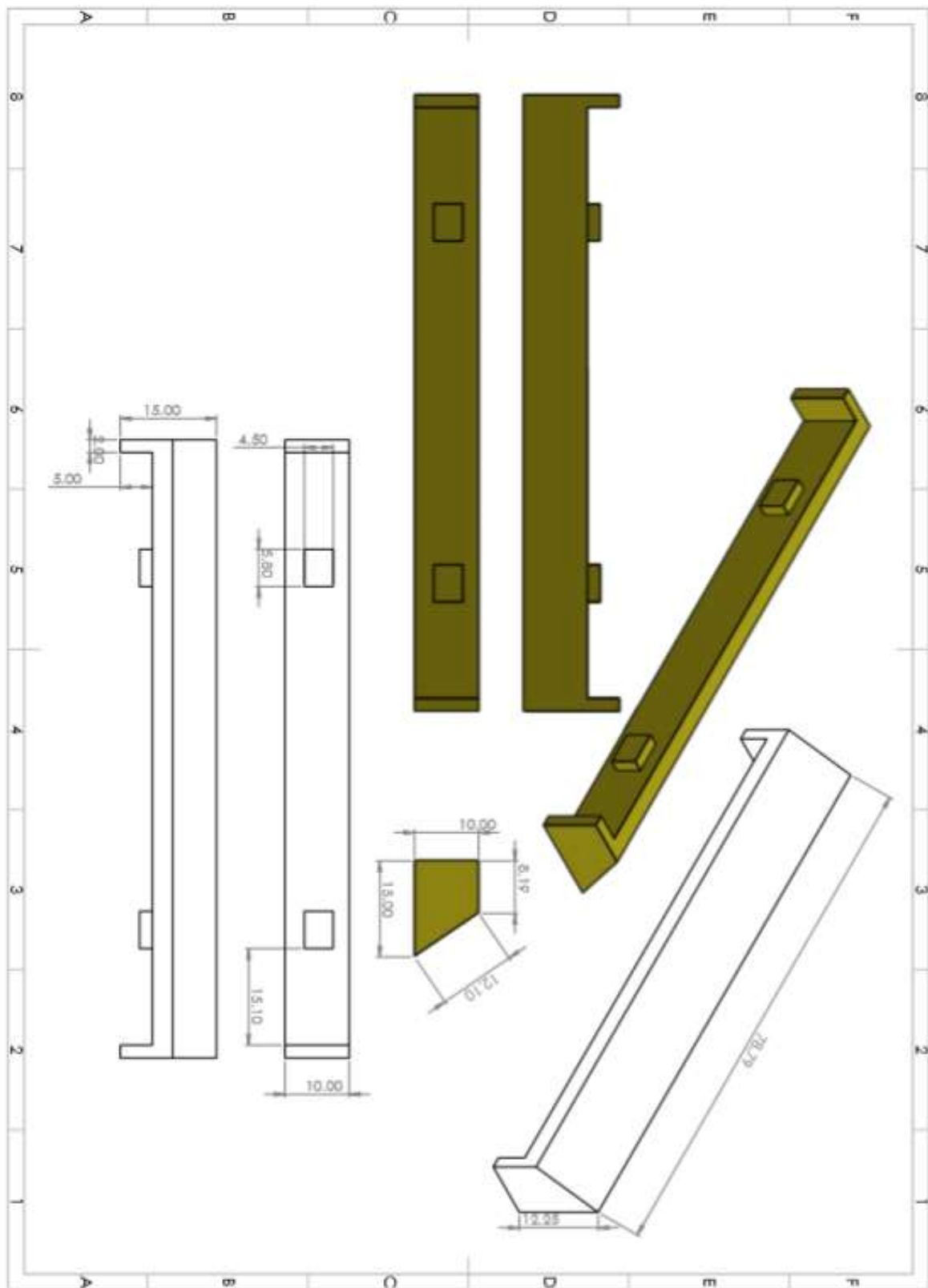


Figura 78. Plano del mecanismo de sujeción para el Sentron PAC 3100.

ANEXO 2

Código de implementación para la comunicación Modbus Master vía interfaz RS-485 utilizando el entorno de desarrollo Arduino.

```
#include <ModbusMaster.h>

ModbusMaster pac;

//Enable pins of the Adapter
#define MAX485_DE 3
#define MAX485_RE 2

void preTransmission()
{
    digitalWrite(MAX485_DE, 1);
    digitalWrite(MAX485_RE, 1);
}

void postTransmission()
{
    digitalWrite(MAX485_DE, 0);
    digitalWrite(MAX485_RE, 0);
}

void setup()
{
    pinMode(MAX485_RE, OUTPUT);
    pinMode(MAX485_DE, OUTPUT);

    //Initiate Reception
    digitalWrite(MAX485_DE, LOW);
    digitalWrite(MAX485_RE, 0);

    Serial.begin(19200);

    //PAC slave ID is 126
    pac.begin(2, Serial);

    pac.preTransmission(preTransmission);
    pac.postTransmission(postTransmission);
}

//bool state = true;
```

```

void loop()
{
  uint8_t result;

  pac.preTransmission(preTransmission);

  result = pac.readInputRegisters(0x30001,20);//Funcion utilizada

  pac.postTransmission(postTransmission);

  if (result == pac.ku8MBSuccess)
  {
    Serial.println("=====");
    Serial.print("Corriente L1: ");
    Serial.println((pac.getResponseBuffer(0x0D))/100.4F);//registro a leer
    Serial.print("Corriente L2: ");
    Serial.println((pac.getResponseBuffer(0x10))/100.4F);
    Serial.print("Corriente L3: ");
    Serial.println((pac.getResponseBuffer(0x12))/100.4F);

  }
  if (result == pac.ku8MBInvalidSlaveID){ // Falla de direccion ID invalida.
    Serial.println("fail");
  }
  if (result == pac.ku8MBInvalidFunction){ // Funcion de acceso incorrecta.
    Serial.println("failfunction");
  }
  if (result == pac.ku8MBResponseTimedOut){ // Tiempo de respuesta erroneo.
    Serial.println("timeout");
  }
  if (result == pac.ku8MBInvalidCRC){ // Final de trama de datos incorrecta.
    Serial.println("failcrc");
  }
  delay (1000);
}

```

ANEXO 3

Carta de aceptación por parte de la empresa para la residencia profesional



León, Guanajuato, a 19 de agosto de 2019

Asunto: Carta de aceptación de
residencias profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA

PRESENTE

Por medio de la presente se notifica que el **C. ROLANDO MOISÉS HINOJOSA MEZA**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050126, ha sido aceptado para realizar en esta empresa su proyecto de Residencia Profesional denominado "**Sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica mediante tecnología IoT MoTeBo®; consumo energético de un torno CNC DMTG**" durante el periodo de agosto a diciembre de 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas, de lunes viernes, bajo la supervisión del Dr. Paulino Vacas Jacques, Director de la empresa, quien funge como asesor externo.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

ATENTAMENTE


LIC. ALBERTO EUGENIO JACQUES ESPÍRITU
DIRECTOR DE FINANZAS Y ADMINISTRACIÓN

C.p. Archivo.



ANEXO 4

Carta de conclusión por parte de la empresa para la residencia profesional



León, Guanajuato, a 6 de diciembre de 2019

Asunto: Carta de conclusión de
residencias profesionales

MA. MAGDALENA CUEVAS MARTÍNEZ
JEFA DEL DEPARTAMENTO DE GESTIÓN TECNOLÓGICA Y VINCULACIÓN
INSTITUTO TECNOLÓGICO DE PABELLÓN DE ARTEAGA

PRESENTE

Por medio de la presente se notifica que el **C. DIEGO ALEJANDRO VERA DÍAZ**, estudiante de la carrera de Ingeniería en Mecatrónica, con número de control 151050144, concluyó satisfactoriamente en esta empresa su proyecto de Residencia Profesional denominado **"Sistema integral de monitoreo de consumo de energía eléctrica mediante tecnología IoT MoTeBo®: consumo energético de una fresadora CNC universal"** durante el periodo de agosto a diciembre de 2019, cubriendo un total de 500 horas en un horario de 10:00 a 17:00 horas, de lunes viernes, bajo la supervisión del Dr. Paulino Vacas Jacques, Director de la empresa, quien fungió como asesor externo.

Sin más por el momento, reciba un cordial saludo y quedo de Usted.

ATENTAMENTE


LIC. ALBERTO EUGENIO JACQUES ESPÍRITU
DIRECTOR DE FINANZAS Y ADMINISTRACIÓN

C.p. Archivo.

